

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

Sistema Domótico de Control Centralizado con Comunicación por Línea de Poder

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Electrónico**, que presentan los bachilleres:

**Miguel Ricardo Guzmán Guerra
Renzo Andreé Burga Velarde**

ASESOR: Ing. Willy Eduardo Carrera Soria

Lima, diciembre del 2014

RESUMEN

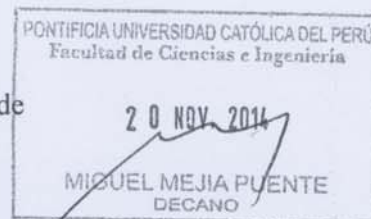
En el presente documento de tesis se realiza el diseño y la implementación de un sistema domótico cuya comunicación se realiza a través del cableado de suministro de energía eléctrica de cada equipo que conforma el sistema. Se optó por el uso de este tipo de comunicación, debido a que reduce el costo de instalación de equipos de domótica en viviendas cuya construcción no se dio con un cableado adicional para comunicar equipos.

Para lograr los objetivos planteados en el desarrollo de este documento de tesis, se analizó el estado del arte de las tecnologías que forman parte del rubro de la domótica, así como la situación de esta en nuestro país. A partir de estas dos evaluaciones se plantea una posible solución a problemas detectados en este rubro en el Perú. Posteriormente se realiza un diseño de la propuesta planteada y se procede a implementar los cálculos y selección de componentes realizados.

A partir de las pruebas que se realizaron al sistema planteado, diseñado e implementado a lo largo de este documento de tesis, se comprueba la posibilidad de realizar una comunicación, para frecuencias de transmisión menores o iguales a los 60Hz, utilizando como medio el cableado dedicado al suministro de energía eléctrica bajo las condiciones brindadas en el Perú.

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Sistema Domótico de Control Centralizado con Comunicación por Línea de Poder
Área : Control y Automatización # 1261
Asesor : Willy Eduardo Carrera Soria
Alumno : Miguel Guzmán Guerra ; Renzo Burga Velarde
Código : 20084655 ; 20077127
Fecha : 09/10/2014



Descripción y Objetivos

El término "Domótica", según la RAE, hace referencia a un conjunto de sistemas que automatizan las diferentes instalaciones de una vivienda. Desde finales de la década de los setenta, cuando aparecen las primeras aplicaciones de la domótica en el mundo, se ha buscado dar confort, seguridad y gestionar la energía de las viviendas, usando como herramienta la electrónica.

En nuestro país, el uso de estos sistemas no es muy común debido al elevado costo de instalación de los equipos y la necesidad de modificar la vivienda cuando la comunicación se realiza mediante cableado estructurado o debido al elevado costo de los sistemas con comunicación inalámbrica. Además la mayor cantidad de viviendas, no han sido diseñadas para contar con un sistema domótico. Existen sistemas domóticos que no requieren de cableado adicional, son fáciles de instalar en cualquier tipo de vivienda y además son de bajo costo de fabricación.

El objetivo del presente tema de tesis, es diseñar e implementar estos últimos, es decir, un sistema domótico capaz de comunicarse mediante las líneas de poder y ser gobernado por un controlador central que se comunica inalámbricamente con varios dispositivos móviles para funcionar como interfaz con el usuario. Además el sistema deberá contar, a manera de demostración, de tres controladores secundarios que podrán: uno de ellos encender o apagar luminarias, el otro habilitar o inhabilitar el suministro de energía en un tomacorriente para cargas diversas, y el tercero controlar la apertura o cierre de las cortinas de una vivienda.

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Sistema Domótico de Control Centralizado con Comunicación por
Linea de Poder

Índice

Introducción

- | | |
|---|--------------|
| 1. Situación Actual de la Domótica | Burga/Guzman |
| 2. Descripción del Sistema Domótico a desarrollar | Burga/Guzman |
| 3. Diseño e Implementación del Sistema | Burga/Guzman |
| 4. Pruebas y Resultados | Burga/Guzman |


Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

Anexos

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
SECCIÓN ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA


Ing. WILLY CARRERA SORÍA
PROFESOR ASOCIADO

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

M. Sc. Ing. MIGUEL ANGEL CATANO SÁNCHEZ
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica

ÍNDICE

ÍNDICE DE IMAGENES	III
ÍNDICE DE TABLAS	V
INTRODUCCIÓN	1
1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA DOMÓTICA	3
1.1. Historia de la Domótica	3
1.1.1. Europa.....	3
1.1.2. Estados Unidos.....	3
1.1.3. Japón.....	4
1.2. Domótica en el Perú	4
1.3. Tecnologías Vigentes.....	4
2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DOMÓTICO A DESARROLLAR	7
2.1. Protocolo X10 – Domo PUCP	7
2.2. Comunicación Bluetooth.....	10
2.3. Aplicación Móvil	11
2.4. Control de Elementos del Hogar	12
3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	13
3.1. Introducción.....	13
3.2. Objetivos del Proyecto.....	14
3.3. Hardware.....	15
3.3.1. Módulo Transmisor PLC.....	15
3.3.2. Interfaz Bluetooth a RS232.....	18
3.3.3. Controlador del Módulo de Control.....	19
3.3.4. Módulo Receptor PLC.....	22
3.3.5. Control de Iluminación	24
3.3.6. Control de Tomacorrientes.....	26
3.3.7. Control de Cortinas	27
3.3.8. Controlador del Módulo Controlable	29
3.3.9. Fuente de Alimentación.....	32
3.4. Software	33
3.4.1. Programación del microcontrolador del Módulo de Control.....	33
3.4.2. Programación del microcontrolador del Módulo Controlable.....	35

3.4.3. Diseño e implementación de la aplicación Móvil	38
4. PRUEBAS Y RESULTADOS	42
4.1. Pruebas de la comunicación por línea de Poder	42
4.1.1. Pruebas del Módulo Transmisor de Comunicación por Línea de Poder	42
4.1.2. Pruebas del Módulo Receptor de Comunicación por Línea de Poder	44
4.2. Pruebas de los Circuitos de Control de Cargas	47
4.2.1. Pruebas del Circuito de Control de Iluminación	47
4.2.2. Pruebas del Circuito de Control de Tomacorrientes	49
4.2.3. Pruebas del Circuito de Control de Cortinas	50
4.3. Pruebas de la comunicación Bluetooth y la aplicación móvil	50
4.4. Pruebas y resultados del sistema completo	52
CONCLUSIONES	55
RECOMENDACIONES	56
Bibliografía	57

ÍNDICE DE IMAGENES

Figura 1. 1 Tipos de Arquitectura. Centralizada, Descentralizada y Distribuida [21].....	5
Figura 2. 1 Señal X10 en la Red Eléctrica [5]	8
Figura 2. 2 Transmisión de Datos Binarios PLC [7]	9
Figura 2. 3 Cabecera X10 [7]	9
Figura 2. 4 Ejemplo de Transmisión de Trama X10 [7].....	10
Figura 2. 5 Paquete de Datos Bluetooth [13].....	11
Figura 3. 1 Diagrama de bloques del Sistema Domótico	13
Figura 3. 2 Diagrama de Bloques del Transmisor de Comunicación por Línea de Poder.	15
Figura 3. 3 Esquemático del Circuito Detector de Cruce por Cero	16
Figura 3. 4 Esquemático de Circuito Generador y Acoplador de señal de 120 KHz	17
Figura 3. 5 Módulo HC-05.....	19
Figura 3. 6 Esquemático del Circuito del Controlador del Módulo de Control	20
Figura 3. 7 Capa de Cobre Superior de Módulo de Control	21
Figura 3. 8 Capa de Cobre Posterior de Módulo de Control.....	21
Figura 3. 9 Capa de Componentes Superior del Módulo de Control	22
Figura 3. 10 Diagrama de Bloques del Receptor de Comunicación por Línea de Poder ..	22
Figura 3. 11 Diagrama de Bloques del Circuito Detector de Pulsos PLC	23
Figura 3. 12 Esquemático del Circuito Detector de Pulsos PLC.....	24
Figura 3. 13 Esquemático del Circuito de Control de Iluminación	25
Figura 3. 14 Capa de Cobre Posterior del Circuito de Control de Iluminación	25
Figura 3. 15 Capa de Componentes Superior del Circuito de Control de Iluminación	26
Figura 3. 16 Esquemático del Circuito de Control de Tomacorrientes.....	26
Figura 3. 17 Capa de Cobre Posterior del Circuito de Control de Tomacorrientes	27
Figura 3. 18 Capa de Componentes Superior del Circuito de Control de Tomacorrientes	27
Figura 3. 19 Esquemático del Circuito de Control de Cortinas	28
Figura 3. 20 Capa de Cobre Posterior del Circuito de Control de Cortinas.....	28
Figura 3. 21 Capa de Componentes Superior del Circuito de Control de Cortinas	29
Figura 3. 22 Esquemático del Circuito del Controlador del Módulo Controlable	30
Figura 3. 23 Capa de Cobre Posterior de Módulo Controlable	31
Figura 3. 24 Capa de Cobre Superior de Módulo Controlable.....	31

Figura 3. 25 Capa de Componentes Superior del Módulo Controlable.....	32
Figura 3. 26 Diagrama de Flujo del Programa Principal del Módulo de Control.....	34
Figura 3. 27 Diagrama de Flujo de Transmisión de Pulsos PLC	35
Figura 3. 28 Diagrama de Flujo del Programa Principal del Módulo Controlable	37
Figura 3. 29 Diagrama de Flujo de Recepción de Pulsos PLC.....	38
Figura 3. 30 Diagrama de Flujo del Programa Principal de la Aplicación Móvil	40
Figura 3. 31 Entorno Gráfico de la Aplicación Móvil.....	41
Figura 4. 1 Prueba del Circuito Detector de Cruce por Cero	43
Figura 4. 2 Prueba del Circuito Generador y Acoplador de Comunicación PLC	44
Figura 4. 3 Prueba Tras el Filtro Pasa Altos del Circuito Detector de Pulsos PLC	45
Figura 4. 4 Prueba Tras el Amplificador del Circuito Detector de Pulsos PLC.....	45
Figura 4. 5 Prueba Tras el Detector de Envolvente del Circuito Detector de Pulsos PLC	46
Figura 4. 6 Prueba Tras el Inversor del Circuito Detector de Pulsos PLC	46
Figura 4. 7 Prueba a la Salida del Circuito Detector de Pulsos PLC	47
Figura 4. 8 Prueba del Circuito de Control de Iluminación Lámpara Encendida por Completo	48
Figura 4. 9 Prueba del Circuito de Control de Iluminación Lámpara Atenuada.....	48
Figura 4. 10 Figura 4. 9 Prueba del Circuito de Control de Iluminación Lámpara Atenuada	49
Figura 4. 11 Prueba del Circuito de Control de Tomacorrientes.....	49
Figura 4. 12 Prueba del Circuito de Control de Cortinas	50
Figura 4. 13 Prueba de la Aplicación Móvil y la Comunicación Bluetooth	51
Figura 4. 14 Valores Recibidos por el Arduino Mostrados en el Terminal	51
Figura 4. 15 Trama X10-DOMO PUCP Transmitida y Recibida	52
Figura 4. 16 Módulo de Control.....	53
Figura 4. 17 Modulo Controlable - Control de Iluminación.....	53
Figura 4. 18 Modulo Controlable - Control de Tomacorrientes	54
Figura 4. 19 Modulo Controlable - Control de Cortinas	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1 Comparación de Precios de Módulos Bluetooth..... 18

Tabla 3. 2 Resultados de Cálculos de Consumos 32



INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la domótica en nuestro país cobra fama muy rápidamente debido al gran crecimiento inmobiliario que se da en los últimos años. Antes de comenzar a desarrollar este documento, es conveniente dar una definición al término “domótica”. Según el Diccionario de la Real Academia Española, este hace referencia al “Conjunto de sistemas que automatizan las diferentes instalaciones de una vivienda” [20], es decir que con la ayuda de la domótica podemos tener el control de cualquier aparato o equipo, en nuestro hogar, que funcione con electricidad.

En el mundo, estos sistemas de automatización se vienen usando en las edificaciones desde hace décadas y, desde su aparición, se han creado diferentes tecnologías para lograr el propósito de control sobre los equipos eléctricos y/o electrónicos del hogar. Es así que en el presente encontramos diferentes aplicaciones de la domótica y diferentes formas de comunicación entre los módulos que controlan cada equipo.

Entre las aplicaciones encontramos la automatización de la iluminación, control de encendido y apagado de los equipos, control remoto para equipos electrónicos, control de sistemas de seguridad, entre otras. A la par, si analizamos la situación actual en cuanto a comunicaciones de los sistemas domóticos, encontraremos diversos medios y una gran cantidad de protocolos para lograr la interrelación de los diferentes módulos que conforman un sistema de automatización del hogar. Cabe mencionar que, actualmente se siguen realizando investigaciones para mejorar las aplicaciones y formas de comunicación de estos sistemas.

En el Perú, aunque se mencionó anteriormente que estos sistemas tienen una gran acogida, esta tendencia se viene dando, únicamente en los últimos años y no en la máxima magnitud posible. Esto se debe a diversos factores que se ven reflejados al confrontar encuestas realizadas por el Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú [15] y la encuesta realizada por el grupo de investigación DOMEISI de la PUCP el año 2013 [11]. La primera de estas estadísticas nos revela que el porcentaje total de viviendas particulares viene en aumento desde el año 2010, con lo que podemos deducir que el mercado objetivo viene creciendo significativamente desde este periodo. La segunda fuente nos confirma que las dos principales razones por las que los usuarios no adquieren un sistema domótico

están referidas a la falta de información sobre los beneficios que nos pueden brindar éstos y su elevado precio de adquisición e instalación.

En el presente documento se desarrolla, a lo largo de cuatro capítulos, una propuesta de solución para disminuir el costo de adquisición e instalación de los sistemas domóticos en nuestro país y se da a conocer múltiples tecnologías vigentes en el mercado de la domótica en la actualidad.

En el primer capítulo, se hace un breve repaso de la historia de la domótica y se detalla la situación de esta en nuestro país. Además, en la parte final del capítulo, se describen algunas tecnologías vigentes en el campo de la domótica.

En el segundo capítulo se plantea, basándose en lo desarrollado en el primer capítulo, la propuesta de este documento de tesis y se detallan las posibles soluciones frente a los problemas hallados. Se inicia describiendo un protocolo de comunicación conocido que fue acondicionado para los propósitos de esta investigación, continuamos con la descripción de los hechos necesarios para establecer una comunicación con un dispositivo móvil y se finaliza detallando algunos actuadores típicos en los sistemas domóticos y que servirán como demostración en nuestra investigación para apreciar el potencial que tiene la propuesta planteada.

En el tercer capítulo encontraremos, detallado, todo el proceso de diseño e implementación de la propuesta. Éste se dividió en el diseño del hardware y software del sistema domótico planteado, y estos a su vez se subdividieron de acuerdo al circuito diseñado y al tipo de programación realizado.

En el cuarto capítulo se detallan las pruebas y los resultados obtenidos al poner en funcionamiento cada una de las partes del sistema domótico, así como de todo el sistema en conjunto.

Finalmente se detallan las conclusiones obtenidas tras culminar el documento de tesis y las recomendaciones que surgieron a lo largo de este proceso.

1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA DOMÓTICA

1.1. Historia de la Domótica

La domótica nace de la unión de tres áreas que son la electrónica, la informática y las telecomunicaciones. Desde los años 70 se han ido desarrollando nuevas tecnologías, hasta la actualidad donde se continúa la búsqueda de mejoras en todos los aspectos que conforman un sistema domótico. A continuación, se describen los inicios de la domótica en los diversos entornos en donde se ha presentado con mayor relevancia.

1.1.1. Europa

En este continente, la domótica dio sus primeros pasos cuando seis empresas del programa Eureka iniciaron el primer proyecto IHS (Integrated Home System) que fue iniciado a mediados de los años 87- 88 esto dio pie a que se cree el programa ESPRIT (European Scientific Programme for Research & Development in Information Technology). El objetivo final de este, es definir una norma de integración de los sistemas electrónicos domésticos y analizar cuáles son los campos de aplicación de un sistema de estas características. El programa ESPRIT ha pasado por varias fases, por cada fase se han sumado nuevas empresas y en estos momentos podemos decir que se encuentran representados todos los países de la CEE (Comunidad Económica Europea). Entre los países que más han invertido en la domótica se encuentran Francia y Alemania. Estos han creado diferentes protocolos como Batibus, GHS, X2D, Mediabus en Francia y EIBus en Alemania, sin contar sus sistemas propietarios. El objetivo es establecer un estándar único y se sabe que EHS, EIB y Batibus se unirían en un estándar único, dentro del proyecto Konnex. [21]

1.1.2. Estados Unidos

Se han orientado hacia lo que es un hogar interactivo o intercomunicado, con servicios como teletrabajo, tele enseñanza, etc. Este ha sido el primer país en promover y realizar un estándar para el hogar domótico. Este estándar se llama CEBus (Consumer Electronic Bus). En 1984 se lanzó el proyecto "Smart House" originado por NAHB (National Association of Home Builders). El objetivo de este proyecto fue unificar en un cable los diferentes servicios que se brinda en una casa. Por ejemplo, electricidad, antenas, teléfono,

alarmas, etc. Actualmente el precio promedio de la Domótica incorporada a estas viviendas representa alrededor del 2% del coste total de la casa. [21]

1.1.3. Japón

En Japón su orientación, a diferencia de la Norte Americana, se ha dirigido más a un hogar automatizado, no a un hogar interactivo. Su visión es incorporar al máximo de aparatos electrónicos de consumo como equipos de audio, video, tv, fax, etc. Pero sin conexión al exterior, en otras palabras auto sostenible. La asociación más representativa de Japón es la EIAJ (Electronic Industries Association of Japan) con su proyecto de bus (Home Bus System). [21]

1.2. Domótica en el Perú

En el Perú encontramos diversas empresas que se han interesado en el rubro y que han ingresado al mercado durante la última década. Entre ellas encontramos a empresas como ABB, Grupo CONAUTI, BTICINO, LCN, ACTIVA, entre otras. La característica en común que tienen estas empresas es que los sistemas que ofrecen son conformados por equipos importados de Europa y Asia en su mayoría.

En cuanto a las características de la comunicación de los sistemas domóticos ofrecidos en nuestro país, encontramos que estos se basan únicamente en medios inalámbricos o en sistemas de cableado estructurado, lo que origina que los equipos tengan un elevado costo de adquisición en el primer caso o un elevado costo de instalación en el segundo, ya que se hace necesario el cableado adicional para la comunicación en viviendas que ya han sido construidas sin este.

Tal como se indicó anteriormente, todos estos factores hacen que la domótica en nuestro país no alcance el nivel de importancia que ha encontrado en otros países del mundo, lo que ocasiona que el mercado potencial sea elevado.

1.3. Tecnologías Vigentes

Los mayores avances en el área de la domótica se han dado en la comunicación de los sistemas, debido a que los controladores y los actuadores son los mismos desde hace muchos años. Es así que, encontramos diversas investigaciones con el propósito de lograr

una forma de comunicación que sea fiable, segura y veloz. Las diferentes tecnologías en lo que respecta a este aspecto se encuentran en los tipos de arquitectura empleados, los medios de comunicación y los protocolos vigentes.

La arquitectura, en un sistema domótico, es la manera en cómo se van a comunicar los elementos en la red y como se va a ubicar. Entre las arquitecturas más conocidas se encuentra la arquitectura centralizada, la descentralizada y la distribuida. La primera de estas tiene un sistema de control donde llega toda la información de los diferentes elementos que tienen como función supervisar o controlar. Este sistema de control se encarga de tomar diferentes decisiones que les comunica a un actuador en el sistema. La arquitectura descentralizada, a diferencia de la anterior, no tiene un módulo de control que administre todos los elementos, ya que cada uno de estos toma decisiones propias y son totalmente independientes. Esta arquitectura se caracteriza por presentar un bus compartido por el que los datos le llegan a todos los elementos que lo conforman. Finalmente, se puede afirmar que la arquitectura distribuida reúne las mejores cualidades de las dos mencionadas anteriormente, debido a que en esta arquitectura no existe un solo sistema de control y a estos sistemas de control se les conoce como nodos. Cada uno de estos tiene tanto elementos de supervisión y control como actuadores. Los diferentes tipos de arquitectura descritos, se pueden apreciar en la figura 1.1. [21]

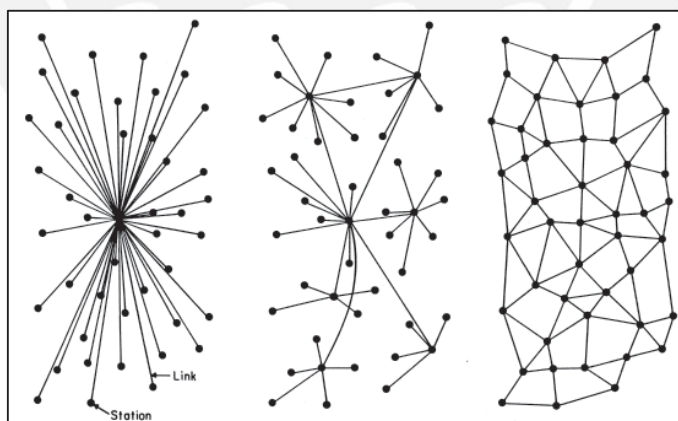


Figura 1. 1 Tipos de Arquitectura. Centralizada, Descentralizada y Distribuida [21]

Los medios de transmisión son los medios físicos que utilizan los diferentes elementos para comunicarse entre ellos. Entre los más usados en el campo de la domótica se encuentra el cableado estructurado, la línea de poder y los medios inalámbricos. La

comunicación por línea de poder utiliza las conexiones ya instaladas en la vivienda. Es usado debido a su bajo coste, ya que usa el cableado del hogar, y a su fácil instalación. La desventaja de este medio es la pérdida de información o ruido en transmisión de datos y la baja velocidad de transmisión. El cableado estructurado es aquel medio que contiene varios conductores en él. Entre los más usados están el par de cable y el par trenzado. Este medio presenta un alto coste debido a los cambios que se deben realizar en la vivienda para el cableado. Entre los medios de comunicación inalámbricos, encontramos a la comunicación infrarroja y a aquella basada en radiofrecuencias. La principal característica de este medio de comunicación es el elevado precio de los componentes encargados de realizar la comunicación inalámbrica. [21]

Un protocolo de comunicación es la estructura, el idioma o el formato que se le da a los mensajes de los diferentes elementos que conforman un sistema domótico para que la información enviada tenga coherencia con la información recibida. Estos se pueden clasificar en dos tipos: estándar o propietarios. Los protocolos estándar son abiertos y publicados para el uso de cualquier persona. Además son usados por varias empresas y tienen la ventaja de que los productos elaborados serán compatibles con los de otros fabricantes que utilicen este mismo protocolo. En cambio, aquellos que son tipo propietario, son creados por empresas que no revelan su formato de comunicación y limitan su uso exclusivamente para sus productos. Entre los protocolos más famosos encontramos al X10 en lo que respecta a la comunicación por línea de poder, el Modbus para comunicación por cableado estructurado y el KNX que es un estándar para el control de sistemas domóticos y que cuenta con protocolos para la comunicación inalámbrica y vía par trenzado. [21]

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DOMÓTICO A DESARROLLAR

Debido a lo mencionado en el capítulo anterior, es que surge la hipótesis de poder desarrollar un sistema de bajo coste y capaz de realizar una comunicación fiable para controlar algunas cargas comunes en las viviendas de nuestro país. A continuación se plantea el uso de la comunicación por línea de poder, debido a su fama de contar con equipos de bajo coste y por ser de una instalación sencilla y de costo mínimo. Además, al encontrar la necesidad de contar con una interfaz entre los usuarios y el sistema domótico, se propone, a manera demostrativa, el uso de comunicación Bluetooth con un dispositivo móvil que cuenta con una aplicación diseñada a medida para el sistema. Finalmente, se plantea, también a manera demostrativa, el control de tres tipos de cargas que se encuentran con mayor frecuencia en las viviendas en nuestro país.

2.1. Protocolo X10 – Domo PUCP

Tal como se mencionó en el capítulo anterior, el medio de comunicación que presenta costos de equipos y de instalación menores al resto es la línea de poder. También se mencionó que uno de los protocolos, que se utilizan en este medio, más conocidos a nivel mundial es el X10, basado en la comunicación PLC (Power Line Carrier) por corrientes portadora, la cual inyecta una señal eléctrica, basada en pulsos, en los cruces por cero de la señal sinusoidal del suministro de energía. Estos pulsos son modulados a una frecuencia de 120KHz y durante 1ms, tal como se muestra en la figura 2.1. En esta figura se observa también la inyección de otros dos pulsos en un semiciclo de la señal sinusoidal, debido a los cruces por cero de las otras dos fases que conforman la red trifásica (en caso de contar con este tipo de suministro en la vivienda).

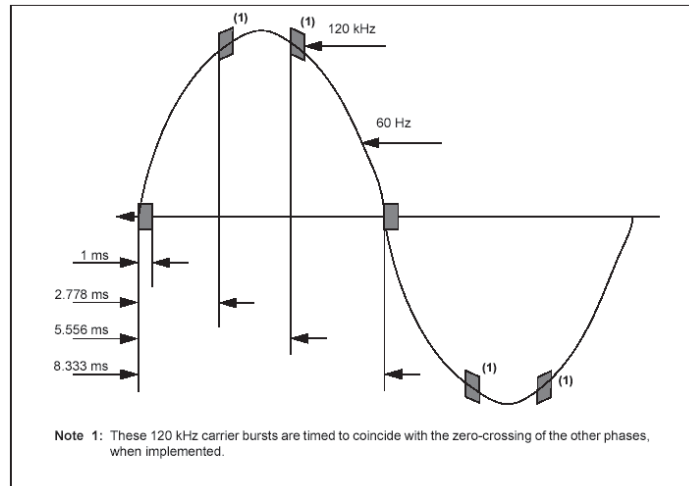


Figura 2. 1 Señal X10 en la Red Eléctrica [5]

Además, el protocolo contempla la transmisión de datos en tramas previamente establecidas de acuerdo a la función que deseamos realizar y a las direcciones de los distintos equipos que conforman el sistema domótico. Para los intereses de esta tesis, que es demostrar la posibilidad de establecer una comunicación por la línea de poder a condiciones del suministro de energía de nuestro país, se modificó el protocolo X10 dando lugar a un protocolo propio llamado X10-DOMO PUCP. Los cambios que se realizaron y la forma de enviar la información serán descritos a continuación.

En primer lugar, cabe indicar que, para el protocolo X10, la trama que se envía a través de la línea de poder está compuesta por datos binarios o bits. Para transmitir un bit se requiere un ciclo de la señal sinusoidal de la red. La forma de transmitir un “1” binario es inyectar un pulso al inicio del ciclo y la ausencia de pulso en el inicio del segundo semiciclo de la forma de onda sinusoidal, mientras que al invertir esta situación se transmite un “0” binario. Esta explicación se observa con mayor claridad en la figura 2.2. En el protocolo X10-DOMO PUCP, se mantuvo esta forma de transmisión de datos.

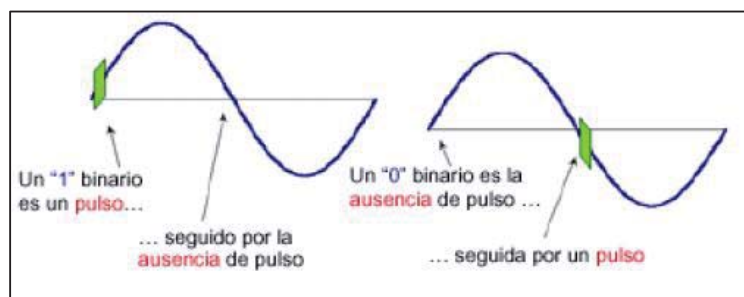


Figura 2. 2 Transmisión de Datos Binarios PLC [7]

En cuanto a la trama del protocolo X10, esta se debe transmitir con un valor conocido de bits al inicio para el correcto reconocimiento del inicio de recepción de datos, conocido como cabecera, la cual no respeta la norma que se mencionó anteriormente, ya que para diferenciarse del resto de datos, se transmite usando cada cruce por cero para transmitir un bit. La figura 2.3 muestra con mayor detalle lo antes mencionado. Esta convención también se mantiene para el protocolo X10-DOMO PUCP.



Figura 2. 3 Cabecera X10 [7]

Siguiendo con la descripción del contenido de la trama del protocolo X10, cabe indicar que este consta, además del código de inicio, de un código de casa (dirección de casa), un código de unidad (dirección de unidad), un código de función (acción a realizar) y dos tipos de sufijos cuya función es la de identificar el tipo de dato transmitido (dirección o función). Las tablas de posibles valores de unidad y función se encuentran en el anexo A del presente documento. La forma de transmitir todos estos datos, según el protocolo X10 se explica a fondo en la figura 2.4, en la que a modo de ejemplo se transmite el encendido de una unidad que conforma el sistema. Se puede apreciar que la trama de dirección y de

función se envía dos veces con la finalidad de asegurar la transmisión. Como el propósito de la tesis es verificar si es posible la comunicación por la línea de poder y como afecta a esta las condiciones del suministro eléctrico en nuestro país, se cambió esta forma de transmisión y se optó por transmitir toda la trama una sola vez y de forma seguida para evaluar el peor caso posible de transmisión, es decir sin técnicas para evitar posibles errores de transmisión.

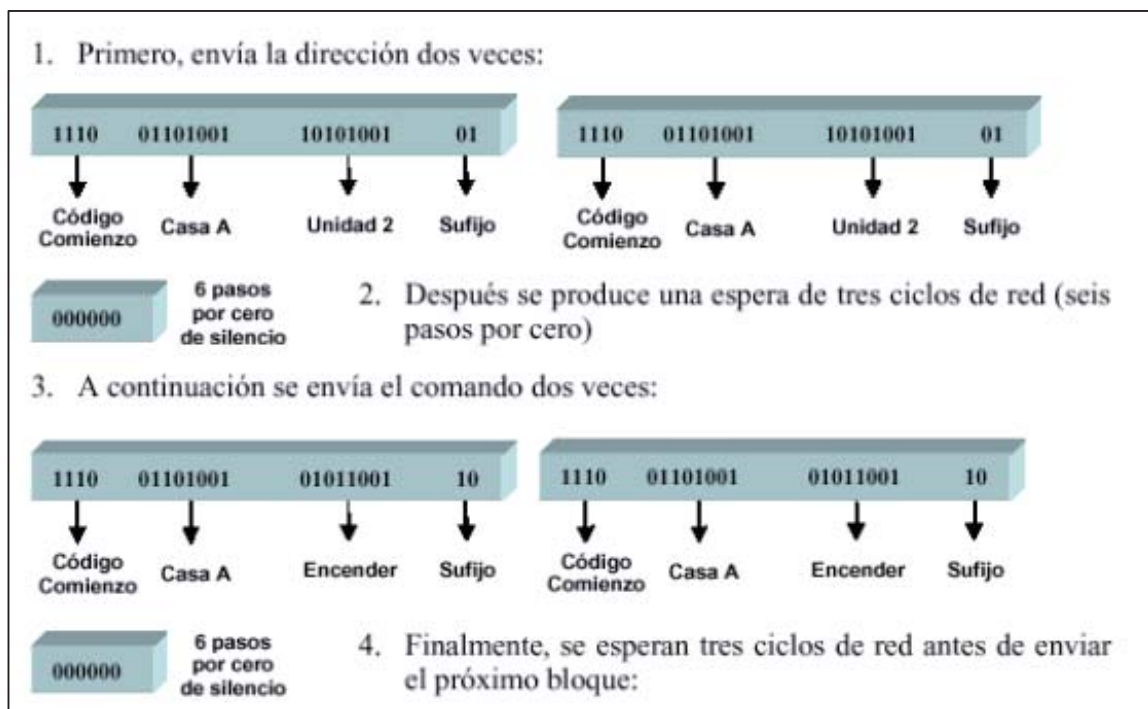


Figura 2. 4 Ejemplo de Transmisión de Trama X10 [7]

2.2. Comunicación Bluetooth

Tal como se mencionó al inicio del capítulo, la propuesta contempla el uso de un dispositivo móvil comunicado con nuestro sistema para funcionar como interfaz entre éste y el usuario. Es así que se plantea, a manera demostrativa el uso de comunicación Bluetooth con el dispositivo móvil, debido a que es un tipo de comunicación muy usado a nivel mundial para gobernar periféricos usando este tipo de dispositivo.

Bluetooth es una especificación tecnológica para redes inalámbricas que permite la transmisión de datos y voz mediante radiofrecuencia. Este se creó con el objetivo de eliminar los cables, facilitar la comunicación entre dispositivos móviles y ofrecer la posibilidad de

crear pequeñas redes inalámbricas. Esta especificación se encuentra a 2.4Ghz en la banda ISM (industrial-científica-médica internacional) y para evitar las interferencias utiliza el salto de frecuencia en un modalidad de ensanchamiento de espectro.

En la comunicación Bluetooth, el canal de transmisión se divide en intervalos de 625us, llamados ranura. Un conjunto de ranuras forman un paquete de datos, conformados por un código de acceso de 72 bits, además por un paquete de datos de cabecera de 54 bits, el cual contiene la información más relevante de control, y el paquete que contiene la información tiene una longitud de 2745 bits. La estructura de paquetes de datos se puede observar en la figura 2.5. [13]

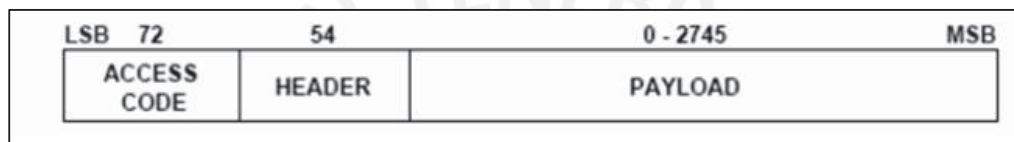


Figura 2. 5 Paquete de Datos Bluetooth [13]

2.3. Aplicación Móvil

A manera demostrativa y de forma complementaria a la comunicación Bluetooth para una comunicación con el usuario, se optó por el diseño de una aplicación móvil que sirva de interfaz gráfica del sistema.

Las aplicaciones móviles o también llamadas “Apps”, son aplicaciones informáticas diseñadas para usarse en teléfonos inteligentes, tabletas y otros dispositivos. Estas se ejecutan sobre sistemas operativos móviles como Android, IOS, BlackBerry OS y Windows, entre los más conocidos. Existen tres tipos de aplicaciones móviles la cuales son: aplicaciones web, aplicaciones nativas y aplicaciones híbridas.

Las aplicaciones web son aquellas que se ejecutan a través de un navegador web. La ventaja de este tipo de aplicación es la compatibilidad con los diferentes equipos y sistemas operativos, y la desventaja es que no cuentan con suficientes permisos para disponer de las diferentes funcionalidades del equipo móvil. Las aplicaciones nativas son aquellas que se almacenan en la memoria del equipo y se ejecutan directamente sobre el sistema operativo, lo que hace que la velocidad de ejecución sea mayor y le permite a la aplicación hacer uso de las diferentes funcionalidades del dispositivo móvil. Finalmente las

aplicaciones híbridas son aquellas que unen las mejores cualidades de ambas, ya que aunque se ejecutan sobre el sistema operativo del dispositivo, requieren de una comunicación con algún servidor web para descargar su información y ser funcional.

Para la propuesta, se plantea el uso de una aplicación nativa ya que no se requiere una comunicación con algún servidor web, así como también, la programación de esta para sistemas operativos Android ya que, según estadísticas realizadas a nivel nacional [24], el 60% de usuarios de teléfonos inteligentes utiliza este sistema operativo.

2.4. Control de Elementos del Hogar

En la actualidad, los sistemas domóticos son capaces de controlar prácticamente cualquier elemento que se encuentre en el hogar. Entre los más populares se encuentra el control de luminarias, de equipos de acondicionamiento de temperatura, audio, video, entre otros. Pero también se encuentra la automatización de objetos que no son eléctricos o electrónicos como la apertura de puertas, apertura de cortinas, apertura de un caño, entre otras. Para el desarrollo de este documento de tesis se plantea, a manera demostrativa, el diseño e implementación de tres circuitos de control de elementos del hogar que realizarán las funciones de actuadores de cada uno de los módulos que conforman el sistema.

La selección de los tres controles se basó en que es posible encontrar estos elementos en la mayoría de las viviendas de nuestro país. Estos son el control de luces, de habilitación de tomacorrientes y la apertura o cierre de una cortina basada en rieles.

En resumen, se plantea un sistema domótico con comunicación por línea de poder, que cuente con una interfaz gráfica basada en una aplicación móvil para sistemas operativos Android para recibir las instrucciones del usuario. El dispositivo móvil se comunicará vía Bluetooth a un módulo llamado “Módulo de Control” y este gobernará tres módulos de control de elementos del hogar, llamados “Módulos Controlables”, que controlarán una luminaria, un tomacorriente y una cortina.

3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

3.1. Introducción

Tal como se mencionó con anterioridad, el sistema planteado constará de dos tipos de módulos, uno será llamado “Módulo de Control” que, con la ayuda de la aplicación móvil, la comunicación Bluetooth y la transmisión de la comunicación por la línea de poder, hará de interfaz humano máquina (HMI) para el sistema planteado. El otro tipo de módulo diseñado es el “Módulo Controlable” que se encargará de la recepción de la comunicación por la línea de poder, el procesamiento de la señal de control recibida y, con la ayuda del sensor (sólo para el caso del controlador de la cortina) y el actuador, ejecutar el control de los diversos periféricos. La propuesta se puede visualizar de forma más clara en la figura 3.1.

El alcance del proyecto es implementar un sistema domótico capaz de recibir una instrucción, por parte del usuario, desde un dispositivo móvil con una aplicación diseñada a medida, la cual será transmitida vía comunicación por línea de poder a tres módulos que controlen tres tipos de carga que son: una lámpara led de 4Watts, una carga cuyo consumo de corriente sea menor o igual a 10A y una cortina.

A lo largo del capítulo, se detalla el objetivo y el alcance del proyecto y se divide la descripción del diseño e implementación del sistema en dos partes: Hardware y Software.

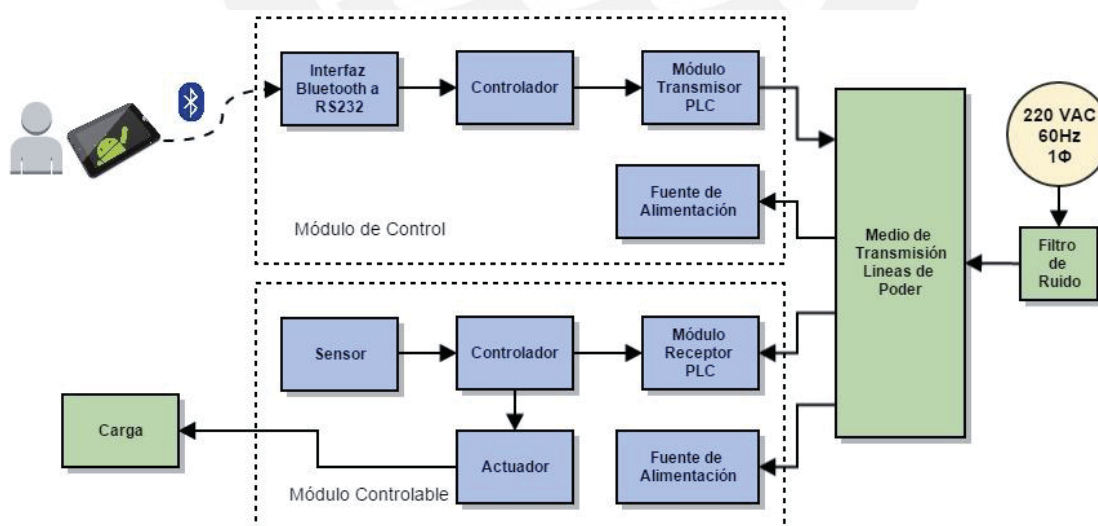


Figura 3. 1 Diagrama de bloques del Sistema Domótico

3.2. Objetivos del Proyecto

El objetivo principal de este documento de tesis es realizar el diseño e implementación de un sistema domótico capaz de comunicarse mediante las líneas de poder y ser gobernado por un controlador central capaz de comunicarse inalámbricamente con un dispositivo móvil para funcionar como interfaz con el usuario. Además el sistema deberá contar, a manera de demostración, de tres controladores secundarios que podrán encender o apagar luminarias, habilitar o inhabilitar el suministro de energía en un tomacorriente para cargas diversas y controlar la apertura o cierre de las cortinas de una vivienda.

Los objetivos específicos son:

- Realizar el estudio, diseño y aplicación de un circuito capaz de transmitir y acoplar una señal de comunicación por línea de poder, utilizando la técnica de corrientes portadoras, al cableado de suministro de energía eléctrica.
- Realizar el estudio y aplicación de un circuito que realice las funciones de interfaz Bluetooth y RS232 para comunicar un dispositivo móvil a un microcontrolador.
- Realizar el estudio, selección, programación y aplicación de un controlador capaz de gestionar el control de las dos aplicaciones mencionadas anteriormente.
- Realizar el estudio, diseño, programación e implementación de una aplicación móvil para compatible con equipos con sistema operativo Android, capaz de transmitir caracteres vía bluetooth a la interfaz del segundo objetivo específico.
- Realizar el estudio, diseño y aplicación de un circuito capaz de recibir una señal de comunicación por línea de poder basada en la técnica de corrientes portadoras, a través del cableado de suministro de energía eléctrica.
- Realizar el estudio, diseño y aplicación de un controlador de intensidad luminosa capaz de controlar una luminaria cuyo consumo sea menor o igual a 7A.
- Realizar el estudio, diseño y aplicación de un controlador de habilitación o inhabilitación de suministro de energía para una carga cuyo consumo de corriente sea menor o igual a 10A.

- Realizar el estudio, diseño y aplicación de un controlador de apertura o cierre de cortinas, así como también el de un sensor que interactúe con este para indicar el final de la trayectoria del elemento a controlar.
- Realizar el estudio y aplicación de fuentes de alimentación capaces de suministrar energía eléctrica a los diferentes circuitos descritos anteriormente y que sea de un tamaño reducido.

3.3. Hardware

En esta sección se desarrolla el proceso de diseño y la implementación del hardware que conforma el sistema domótico planteado. Es decir, se mencionan las consideraciones tomadas en cuenta para el diseño, la selección de los componentes electrónicos y la implementación de las diversas partes de nuestro sistema. Se iniciará detallando el diseño e implementación de los circuitos que conforman el Módulo de Control y luego se describirá el proceso llevado a cabo para los Módulos Controlables.

3.3.1. Módulo Transmisor PLC

El transmisor de comunicación por línea de poder, es el encargado de generar los pulsos de 120KHz de 1ms de duración y de acoplarlos a la red eléctrica en cada cruce por cero. Entonces, podemos afirmar que el transmisor está formado por dos circuitos que le permiten realizar la tarea mencionada. Estos son el detector de cruce por cero y el generador y acoplador de la señal a transmitir a línea de poder. El diagrama de bloques, lo podemos encontrar en la figura 3.2.

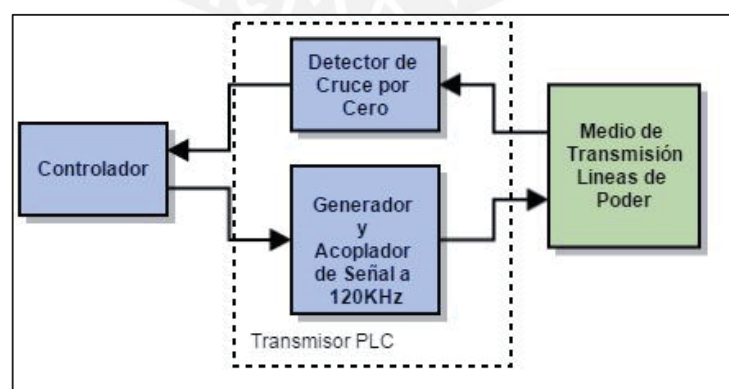


Figura 3. 2 Diagrama de Bloques del Transmisor de Comunicación por Línea de Poder

Iniciamos con la descripción del circuito detector de cruce por cero. El requerimiento es de un circuito capaz de medir el nivel de tensión de la red e indicar el instante en el que la señal sinusoidal tiene un cruce por cero. Para el desarrollo de este documento de tesis se utilizó un transformador con la intención de reducir el nivel de tensión a la entrada del circuito detector de cruce por cero a niveles menores y así proteger el circuito frente a posibles picos de tensión que se puedan dar en la red. Es así que se decidió optar por un transformador 220VAC a 12-0-12VAC con derivación central, seguido de un rectificador de media onda para cada una de las ondas sinusoidales a la entrada. A continuación, mediante el uso de un divisor de tensión basado en un potenciómetro lineal de 1kOhm, se reduce la amplitud de la señal a la entrada (-) de un amplificador operacional de propósito general en configuración de comparador de nivel de tensión, con una tensión de referencia constante en el pin (+) de 600mV. A la salida de este obtendremos una señal en forma de tren de pulsos con dos niveles de tensión, un nivel alto (cercano a 5VDC) cuando detecta un cruce por cero y un nivel bajo (cercano a 0VDC) cuando no se detecta un cruce por cero. A la salida del circuito se acondiciona la señal de salida a niveles lógicos TTL y se reducen posibles variaciones de tensión con uso de un integrado de compuertas lógica inversoras como el SN74LS04. A continuación, en la figura 3.3, se puede apreciar el esquemático del circuito detector de cruce por cero. [17]

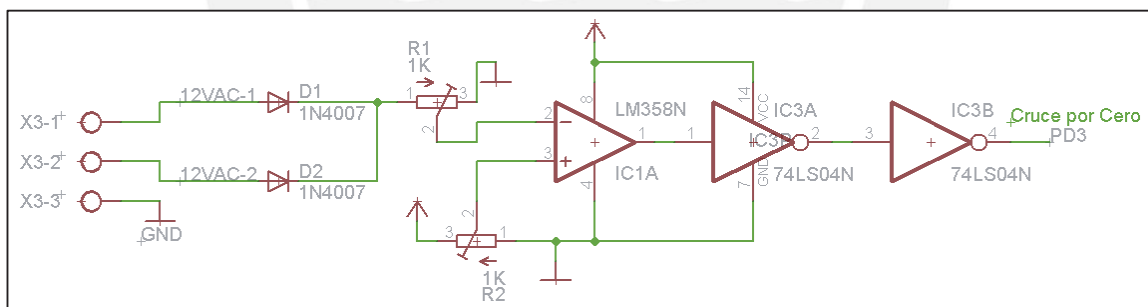


Figura 3. 3 Esquemático del Circuito Detector de Cruce por Cero

Se utilizó el amplificador operacional LM358, debido a que se puede alimentar con 5VDC, el ancho de banda de operación del integrado (1MHz) es suficiente para los requerimientos del sistema cuya máxima frecuencia de trabajo es de 120Hz y, según hoja de datos, el tiempo de subida máximo frente a variaciones en la entrada es de 5us, suficiente para la aplicación. Un último factor fundamental en el uso de este componente es

que es un producto comercial en el Perú y se encuentra disponible en la mayoría de las tiendas de nuestro país.

Continuando con la descripción del transmisor de comunicación por línea de poder, encontramos el circuito generador de la señal cuadrada de 120KHz y el acople a la línea de poder. Para lograr generar la señal, se hace uso de un temporizador en configuración multivibrador astable y para lograr acoplar la señal resultante, se hace uso de un transistor que opera en corte y saturación dependiendo de la señal que ingresa a la base del mismo. En cuanto al temporizador se seleccionó el integrado LM555 debido al bajo error en tiempo de bajada y tiempo de subida a la salida del circuito (100ns) según hoja de datos. Además, con valores de resistencias y condensadores, hallados haciendo uso de las ecuaciones suministradas en hojas de datos, es posible alcanzar la frecuencia deseada a la salida del circuito. Dado que la frecuencia máxima a la que el circuito opera es 120KHz se seleccionó el 2N3904, el cual es un transistor de propósito general que cumple con el requerimiento de frecuencia según hoja de datos. Finalmente, a la salida del circuito, se hace uso de un filtro pasa alto de acoplo conformado por un condensador tipo Maynard de 0.1uF y una resistencia de 1MOhm que asegura una baja impedancia a señales de alta frecuencia. El cálculo de la impedancia se realiza haciendo uso de la ecuación $Z_c = \frac{1}{2 * \pi * f * C}$ que con los valores seleccionados, resultan en una impedancia de 130Ohm para la señal de 120KHz y 26.5KOhm para 60Hz, haciendo posible el acople de la señal a la línea eléctrica [5]. El esquemático del circuito se puede apreciar en la figura 3.4.

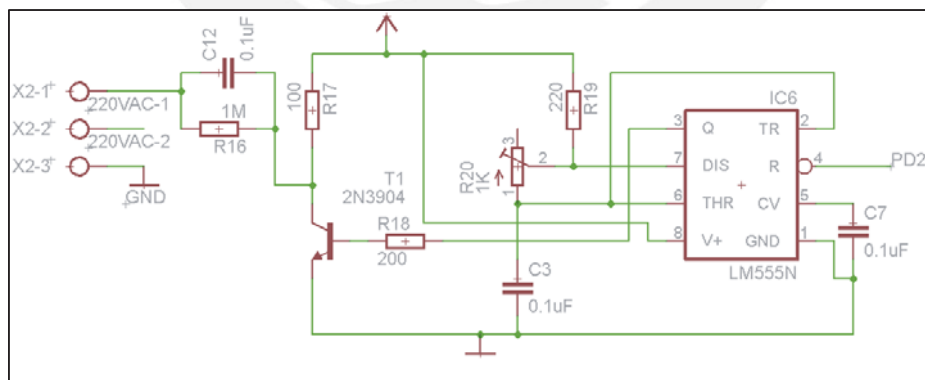


Figura 3. 4 Esquemático de Circuito Generador y Acoplador de señal de 120 KHz

3.3.2. Interfaz Bluetooth a RS232

Para la comunicación Bluetooth, se optó por usar un módulo Bluetooth-RS232 para acondicionar la señal a valores TTL que sean compatibles con el controlador del módulo transmisor. Se seleccionó un módulo maestro/esclavo HC-05 debido a su bajo consumo (40mA en busca de dispositivo, 10.3mA en transmisión y 4.60mA sin tráfico de datos), su reducido tamaño (3cm x 1.3cm), su alto nivel de comercialización en nuestro país y su bajo costo. La tabla 3.1 muestra una comparación de precios entre los módulos más comercializados a nivel mundial. Adicionalmente, se analizó el costo de fabricación del módulo seleccionado y se comparó con el precio de éste en el mercado. El integrado principal del módulo es el BC417143 que es el encargado de realizar la interfaz de comunicación Bluetooth y cuyo precio unitario es de aproximadamente 5.00USD, si a este valor le agregamos los demás componentes como resistencias, condensadores, transistores y el regulador de nivel de tensión a la entrada del módulo sumaría un monto aproximado de 11.00USD. Además se debe tomar en cuenta el costo de fabricación de la tarjeta de 3.9cm² en doble capa y con vías metalizadas, lo que eleva el costo de la tarjeta por encima del valor de adquisición del módulo en nuestro país que es de aproximadamente 13.3USD. Entonces, por las razones descritas, se seleccionó como mejor opción el uso del módulo HC-05.

Módulo	Distribuidor	Precio USD
Bluegiga WT11i	Digikey	36.80
Roving Networks RN42	Sparkfun	19.95
HC-05	Varios (chinos)	7.00

Tabla 3. 1 Comparación de Precios de Módulos Bluetooth

Una vez seleccionado el módulo, es necesario realizar la configuración del mismo. El HC-05 se configura mediante el uso de comandos AT. Para ingresar al modo configuración se debe colocar a 5VDC el pin 34 (KEY) de la tarjeta y, mediante comunicación serial a 38400bps de velocidad de transmisión, una trama de 8 bits, sin bit de paridad y un bit de parada, se ingresan los comandos AT detallados en la hoja de datos para configurar: el nombre del módulo, la dirección MAC, los parámetros de la comunicación con el microcontrolador y la contraseña. En este caso se nombró al módulo "DOMO", se asignó la dirección 98:D3:31:20:0B:2A, contraseña "1234" y una comunicación con velocidad de

9600bps, con trama de 8 bits, sin bit de paridad y un bit de parada. En la figura 3.5 se puede apreciar el módulo HC-05 y sus pines de entrada/salida.

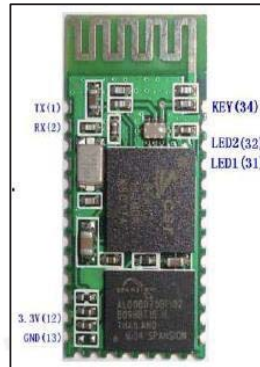


Figura 3. 5 Módulo HC-05

3.3.3. Controlador del Módulo de Control

Para culminar la descripción del módulo de control, se debe seleccionar el circuito encargado de gobernar la comunicación por la línea de poder y la comunicación serial que proviene del módulo HC-05. Entonces este controlador deberá ser capaz de gestionar la comunicación serial proveniente del módulo Bluetooth, procesar la información recibida, determinar la señal a transmitir vía línea de poder y ejecutar esta acción. Es por estas razones que se decide optar por un microcontrolador que sea capaz de realizar todas las funciones mencionadas. En la actualidad, los fabricantes de estos integrados ofrecen múltiples soluciones que se pueden utilizar de acuerdo a los requerimientos del sistema. Pero, debido a los largos tiempos de espera de importación y costos elevados de envío en relación a la cantidad de componentes a importar, se optó por hacer uso de un microcontrolador comercial en nuestro país como el ATMEGA88 que cubre con los requerimientos básicos del sistemas como la facultad de comunicación UART-USART (comunicación serial), tres pines de entrada/salida digitales y la posibilidad de uso de un oscilador externo de bajo porcentaje de error para una correcta comunicación serial. Un último factor a tener en cuenta es el programador que se requiere para la grabación de la memoria de programas del microcontrolador, debido a que se contaba con el programador AVR MKII de la empresa ATMEL, se ratifica la selección del microcontrolador ATMEGA88. En la figura 3.6 se aprecia el esquemático correspondiente al circuito de control.

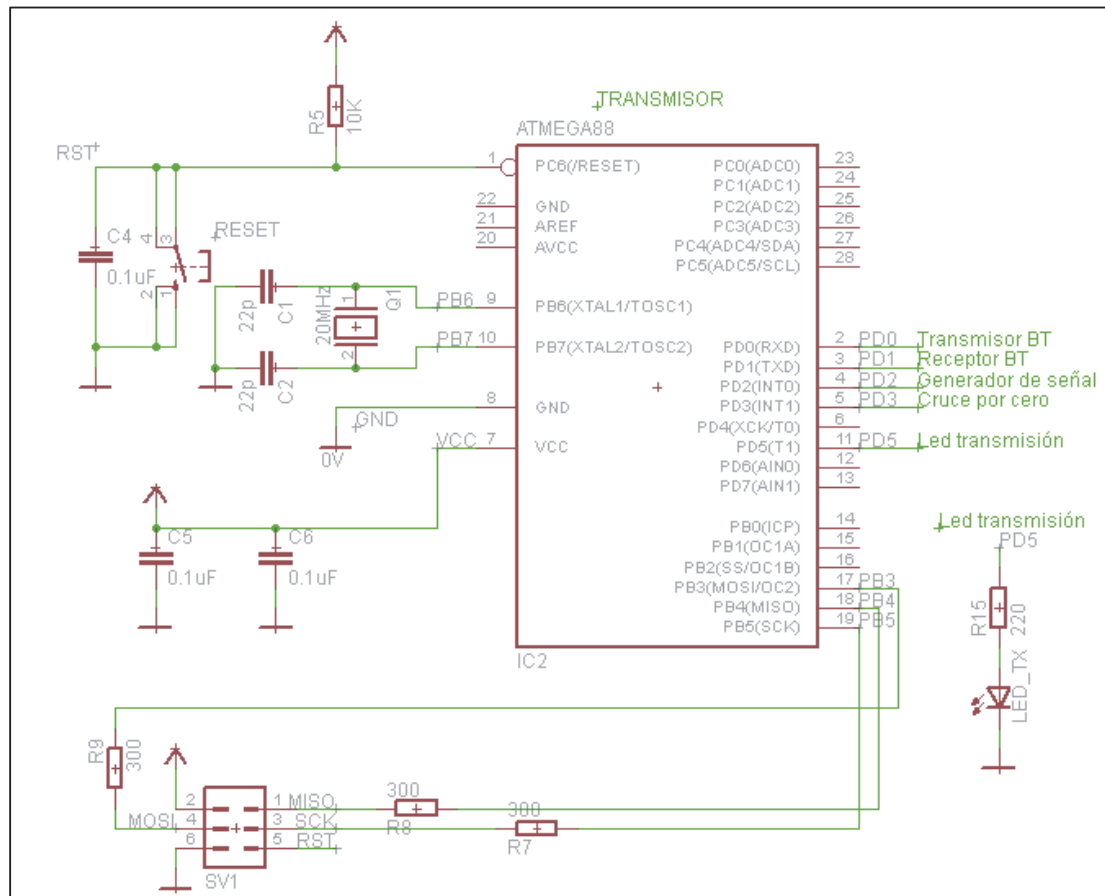


Figura 3. 6 Esquemático del Circuito del Controlador del Módulo de Control

Se puede apreciar el uso de un oscilador de cristal externo de baja porcentaje de error ya que, tal como se indica en la hoja de datos del componente, se requiere para una correcta comunicación serial ya que evita la pérdida de bits debida a errores en la temporización. También se utilizó un led como indicador visual de la transmisión (PD5) y cuatro pines de entrada salida para la transmisión (PD0) y recepción (PD1) de la comunicación serial del módulo Bluetooth, la generación de la señal a transmitir por la línea de poder (PD2) y la detección del cruce por cero (PD3). Además, gracias al programador ISP (In-System Programming) AVRISP MKII es posible realizar la programación del microcontrolador directamente en el circuito impreso.

Finalmente, se detallan las figuras 3.7, 3.8 y 3.9 correspondientes al circuito impreso diseñado e implementado correspondiente a todo el módulo de control. El esquemático de todo el módulo de control puede ser consultado en el anexo.

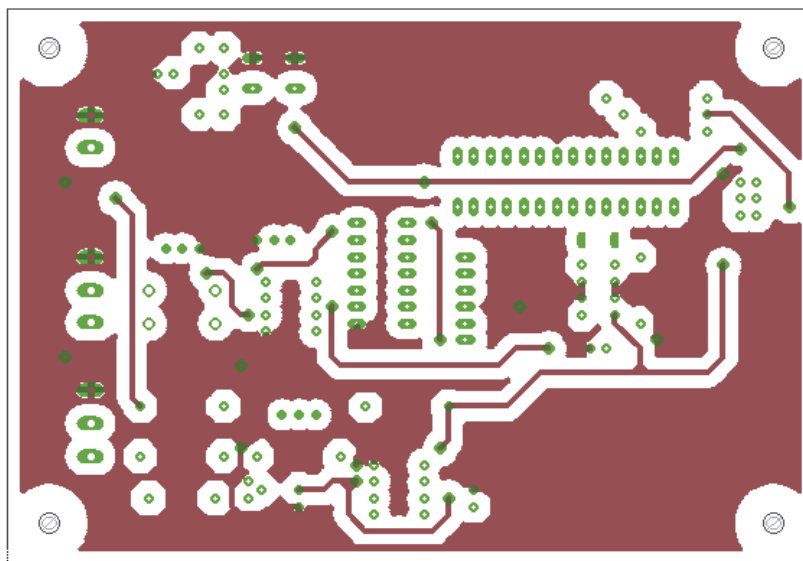


Figura 3. 7 Capa de Cobre Superior de Módulo de Control

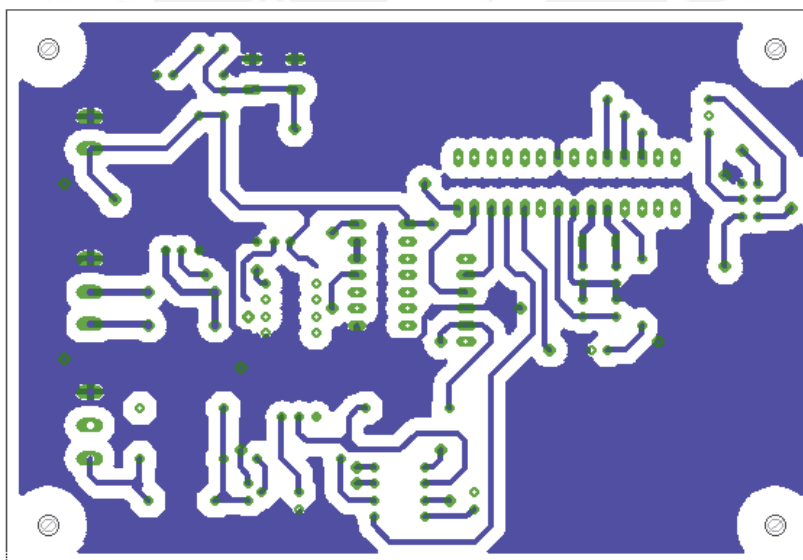


Figura 3. 8 Capa de Cobre Posterior de Módulo de Control

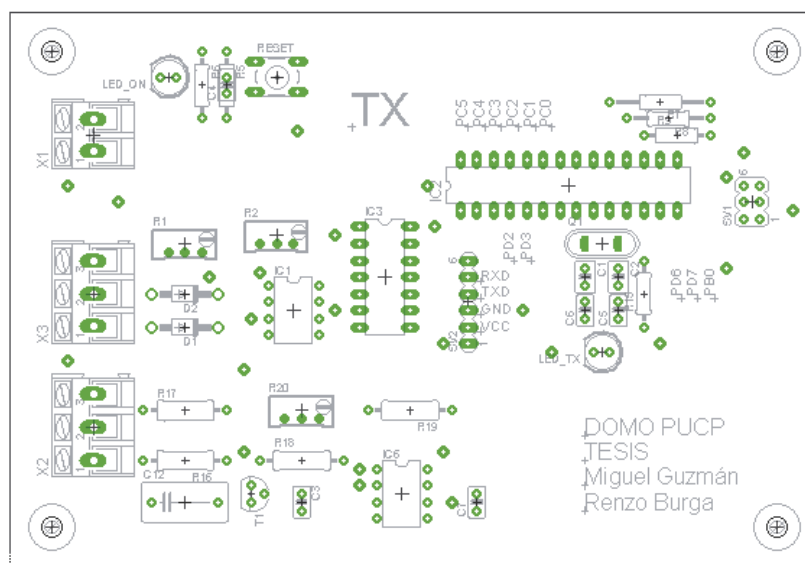


Figura 3. 9 Capa de Componentes Superior del Módulo de Control

3.3.4. Módulo Receptor PLC

El receptor de comunicación por línea de poder se encarga de recibir los pulsos de 120KHz de 1ms de duración enviados por el módulo de control en cada cruce por cero. Entonces concluimos que el módulo receptor está compuesto por dos circuitos que le permiten realizar sus funciones. Estos son: el detector de cruce por cero y el detector de pulsos de la comunicación por línea de poder. El diagrama de bloques del módulo receptor se puede observar en la figura 3.10.

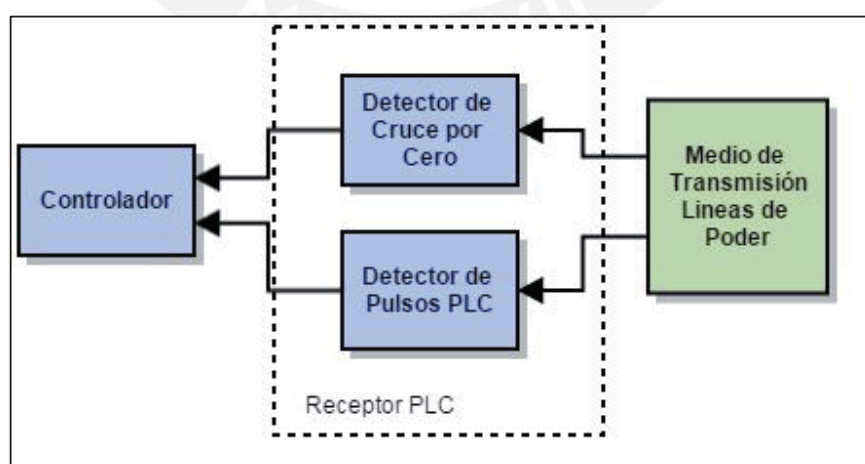


Figura 3. 10 Diagrama de Bloques del Receptor de Comunicación por Línea de Poder

Debido a que el diseño del detector de cruce por cero es el mismo al realizado para el módulo de control, no se desarrollará en esta sección. Para el detector de pulsos de la comunicación por línea de poder, se escogió la solución planteada en el diagrama de bloques mostrado en la figura 3.11. Esta consta de seis etapas, la primera corresponde a un filtro cuya función es desacoplar la señal de comunicación por línea de poder de la señal sinusoidal del suministro de energía eléctrica, después se procede a filtrar las señales de frecuencias menores a la que corresponde a la portadora de la comunicación por línea de poder, es decir 120KHz. A continuación, se amplifica la señal, se detectan la envolvente, se adapta la señal a valores lógicos TTL para que sea compatible con el controlador y finalmente se filtra el ruido de frecuencias mayores a 120Hz debido a que esta es la frecuencia de transmisión de los pulsos.

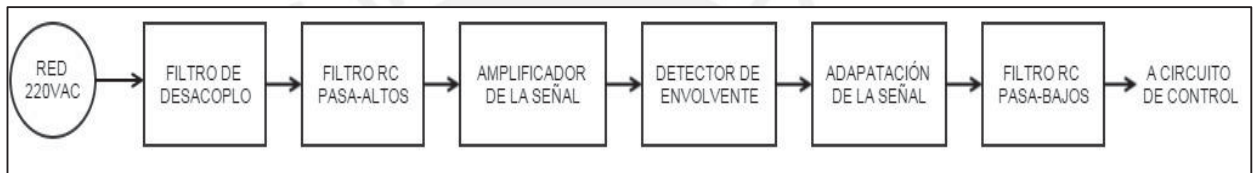


Figura 3. 11 Diagrama de Bloques del Circuito Detector de Pulsos PLC

El esquemático del circuito detector de pulsos de comunicación por línea de poder se detalla en la figura 3.12. La selección del condensador y la resistencia del filtro de desacoplo se realizó para que el valor de impedancia a 60Hz sea elevado a diferencia de la impedancia para 120KHz, los cálculos son los mismos a los realizados en la sección anterior para el filtro de desacoplo del circuito generador y acoplador de señal a 120KHz. En cuanto al filtro pasa altos, se optó por un filtro RC con frecuencia de corte $f_c = \frac{1}{2\pi R C} = 32\text{KHz}$, con un valor de resistencia $R=33\text{K}\Omega$ y condensador $C=150\text{pF}$. La

función de transferencia del filtro es $H(f) = \frac{j2\pi f * 33k * 150p}{1 + j2\pi f * 33k * 150p} = \frac{j \frac{f}{f_c}}{1 + j \frac{f}{f_c}}$, obteniendo así una

atenuación ideal igual a 0dB para una señal con frecuencia mayor o igual 32KHz y un valor de -55dB de atenuación para una frecuencia de 60Hz, asegurando que solo se recupere la señal de pulsos de la comunicación por línea de poder cuya frecuencia de portadora es de 120KHz. Después de filtrar la señal, debemos llevarla a valores de amplitud que nos permitan trabajar con esta, es por esta razón que se diseña un amplificado a partir de una compuerta inversora. Con la ayuda de un condensador de 10pF y una resistencia de

220KOhm en paralelo a la compuerta, se logra la amplificación de la señal para llevarla a tensiones máximas de 5V, la explicación de esta configuración se puede encontrar en la bibliografía [2] y [5]. Para la detección de la envolvente, se usa un diodo, un condensador y una resistencia, conectados a 5VDC, así cuando se reciba un “0” lógico, el detector de envolvente devolverá un valor alto debido a la configuración usada y cuando se reciba un “1” lógico, el detector deberá devolver un nivel bajo, además debido a la frecuencia de 120KHz de la portadora no permite la carga del condensador durante el envío del “1” lógico ya que el tiempo de carga de este es mayor que el tiempo de variación de señal recibida. Tras esta etapa de detección de envolvente, la señal resultante debe ser invertida y, para evitar posibles variaciones bruscas de tensión que salgan del rango de valores lógicos, se diseña un comparador de nivel de tensión, con una tensión de referencia de 3VDC. Finalmente se atenúa ruido de alta frecuencia con un filtro pasa bajos RC con frecuencia de corte $f_c=200\text{Hz}$, para el que se seleccionó una resistencia de 8KOhm y un condensador de 0,1uF.

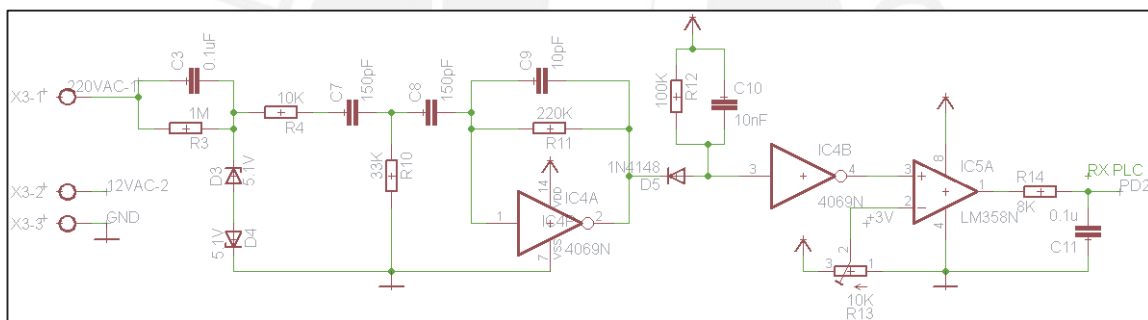


Figura 3. 12 Esquemático del Circuito Detector de Pulsos PLC

3.3.5. Control de Iluminación

Para el control de iluminación se diseñó un circuito de control de intensidad basado en la excitación de un triac. La intensidad luminosa se controla accionando el triac tras un tiempo conocido después del cruce por cero de la señal sinusoidal del suministro de energía eléctrica. Esto permite que solo un porcentaje de potencia suministrada sea consumida por la carga, regulando así la intensidad luminosa de una lámpara led. Es así que se seleccionó un triac como el BT137, debido a la capacidad de corriente nominal de 7A suficiente para alimentar la carga elegida (4 Watts a 200VAC). Además, se aisló la parte de potencia de la de control con el uso de un optoaislador como el MOC3021 debido a que es capaz de

soportar una tensión de hasta 400VAC en sus pines de salida. La resistencia R1 se seleccionó para asegurar la corriente suficiente para energizar el led interno del MOC3021 y R2 se seleccionó para asegurar la corriente de excitación del triac. El circuito de control de intensidad luminosa se puede apreciar en la figura 3.13 y el circuito impreso se detalla en las figuras 3.14 y 3.15.

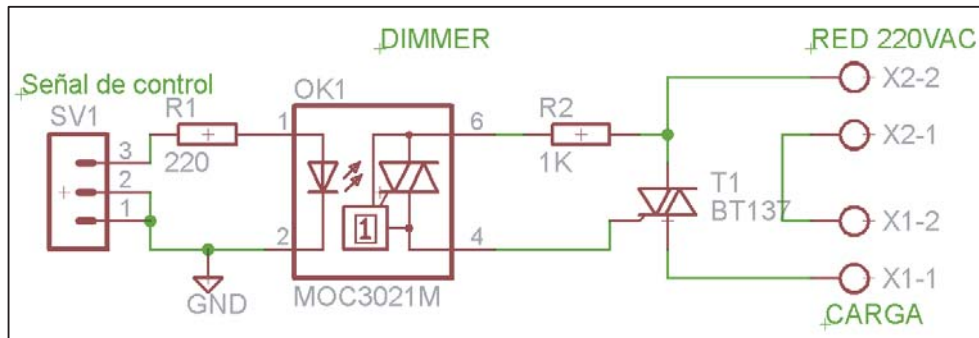


Figura 3. 13 Esquemático del Circuito de Control de Iluminación

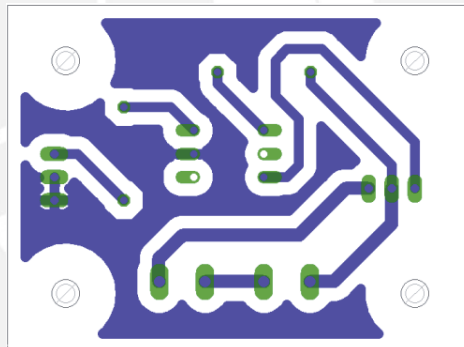


Figura 3. 14 Capa de Cobre Posterior del Circuito de Control de Iluminación

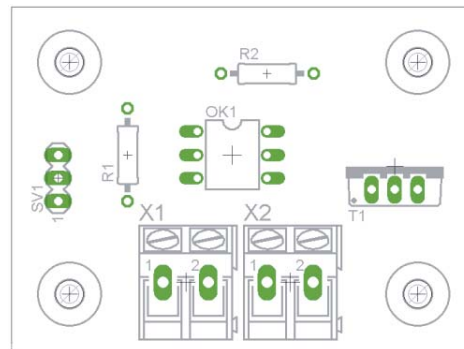


Figura 3. 15 Capa de Componentes Superior del Circuito de Control de Iluminación

3.3.6. Control de Tomacorrientes

Para controlar la habilitación de los tomacorrientes se hizo uso de un relé controlado por la señal digital proveniente del circuito controlador. El relé seleccionado es el Q3F-1Z, debido a que su bobina puede ser excitada con una tensión de 5VDC y es capaz de soportar hasta 10A en sus terminales de salida. La bobina del Q3F-1Z requiere de una corriente de aproximadamente 70mA para ser excitada y realizar la conmutación de los contactos del relé, por lo que se seleccionó dos transistores NPN en configuración Darlington para asegurar este nivel de corriente necesario. Finalmente, para proteger la bobina, se usa un diodo en paralelo. El esquemático del circuito de control de tomacorrientes se puede observar en la figura 3.16 y la implementación del circuito impreso se aprecia en las figura 3.17 y 3.18.

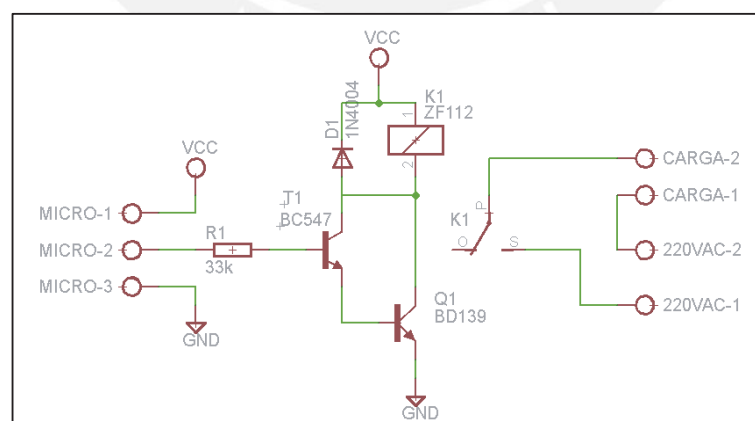


Figura 3. 16 Esquemático del Circuito de Control de Tomacorrientes

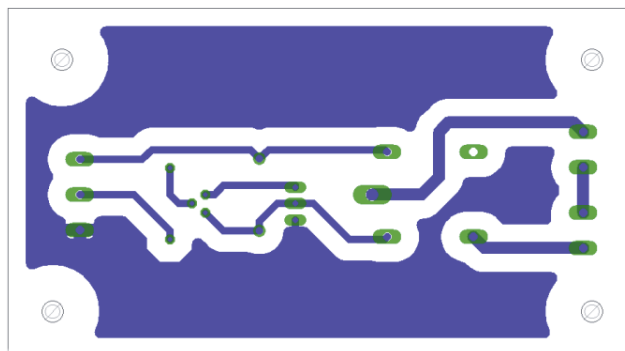


Figura 3. 17 Capa de Cobre Posterior del Circuito de Control de Tomacorrientes

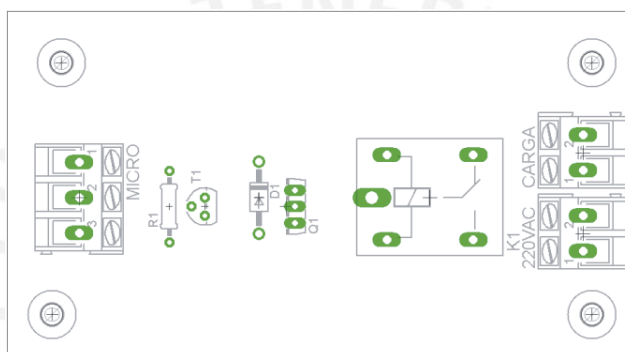


Figura 3. 18 Capa de Componentes Superior del Circuito de Control de Tomacorrientes

3.3.7. Control de Cortinas

El control de cortinas se realiza haciendo uso de un motor que hará girar el mecanismo de cordeles para abrirlas o cerrarlas. Se hará uso de un motor DC con reductor, debido al elevado torque en comparación a otros tipos de motores. Se realizaron pruebas del motor en vacío y con rotor bloqueado del motor, y se obtuvo como corriente nominal del motor 70mA y una corriente máxima de 500mA cuando se bloquea el motor. Debido a los valores obtenidos, se seleccionó un circuito integrado capaz de controlar el sentido de giro del motor, el L293B. Para la selección de este circuito integrado que cumple la función de puente H se tuvo en cuenta la corriente pico del motor, ya que el L293B es capaz de suministrar una corriente pico de 2A, es decir está por encima del valor hallado en pruebas. Adicionalmente, se usaron diodos como protección en paralelo a la salida del circuito integrado. Finalmente, y de forma externa a la tarjeta, se hace uso de fines de carrera para bloquear las señales de control del motor cuando la cortina llegue a los extremos del riel.

Es decir, cuando la cortina llegue a los extremos, se bloqueará el suministro de energía a los motores para evitar que estos sigan girando en ese sentido y funcione mientras está bloqueado. En la figura 3.19 se encontrará el esquemático del circuito de control de cortina y las figuras 3.20 y 3.21 nos detallan la implementación del circuito impreso.

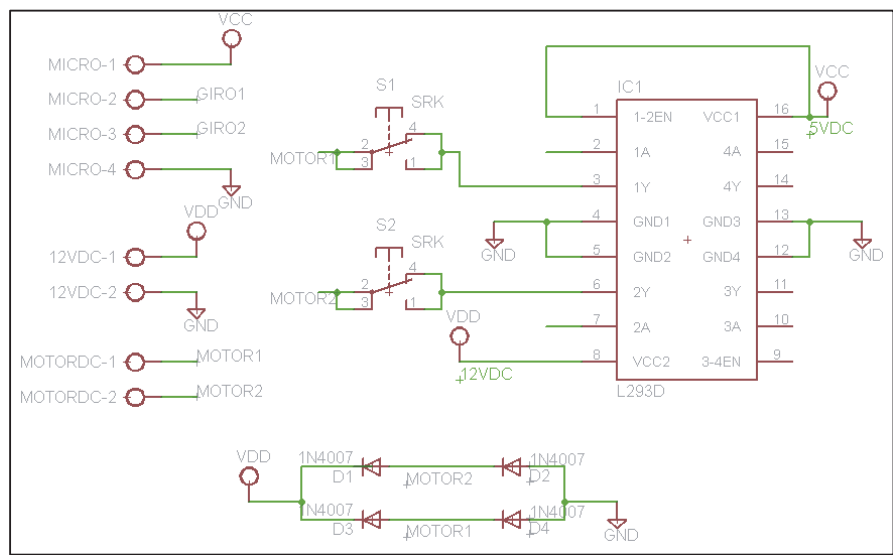


Figura 3. 19 Esquemático del Circuito de Control de Cortinas

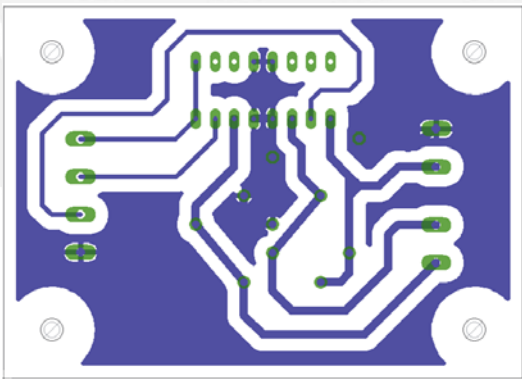


Figura 3. 20 Capa de Cobre Posterior del Circuito de Control de Cortinas

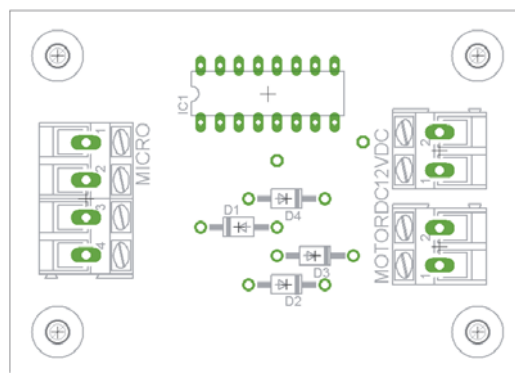


Figura 3. 21 Capa de Componentes Superior del Circuito de Control de Cortinas

3.3.8. Controlador del Módulo Controlable

Para el circuito controlador de este módulo, se seleccionó un microcontrolador igual al del circuito del módulo de control debido a que cumple los requisitos mínimos de frecuencia de operación mayor al doble de la recepción de pulsos de la comunicación por línea de poder, para lograr recuperar la información sin problemas y ejecutar la acción que corresponda. El microcontrolador seleccionado es el ATMEGA88. Adicionalmente, al igual que para el módulo transmisor, se utilizó un led como indicador visual de la recepción (PD5) y cuatro pines de entrada salida para la detección de la señal recibida por la línea de poder (PD2), la detección del cruce por cero (PD3) y el control de los distintos actuadores (PD6 - PD7). El esquemático del circuito descrito se puede observar en la figura 3.22.

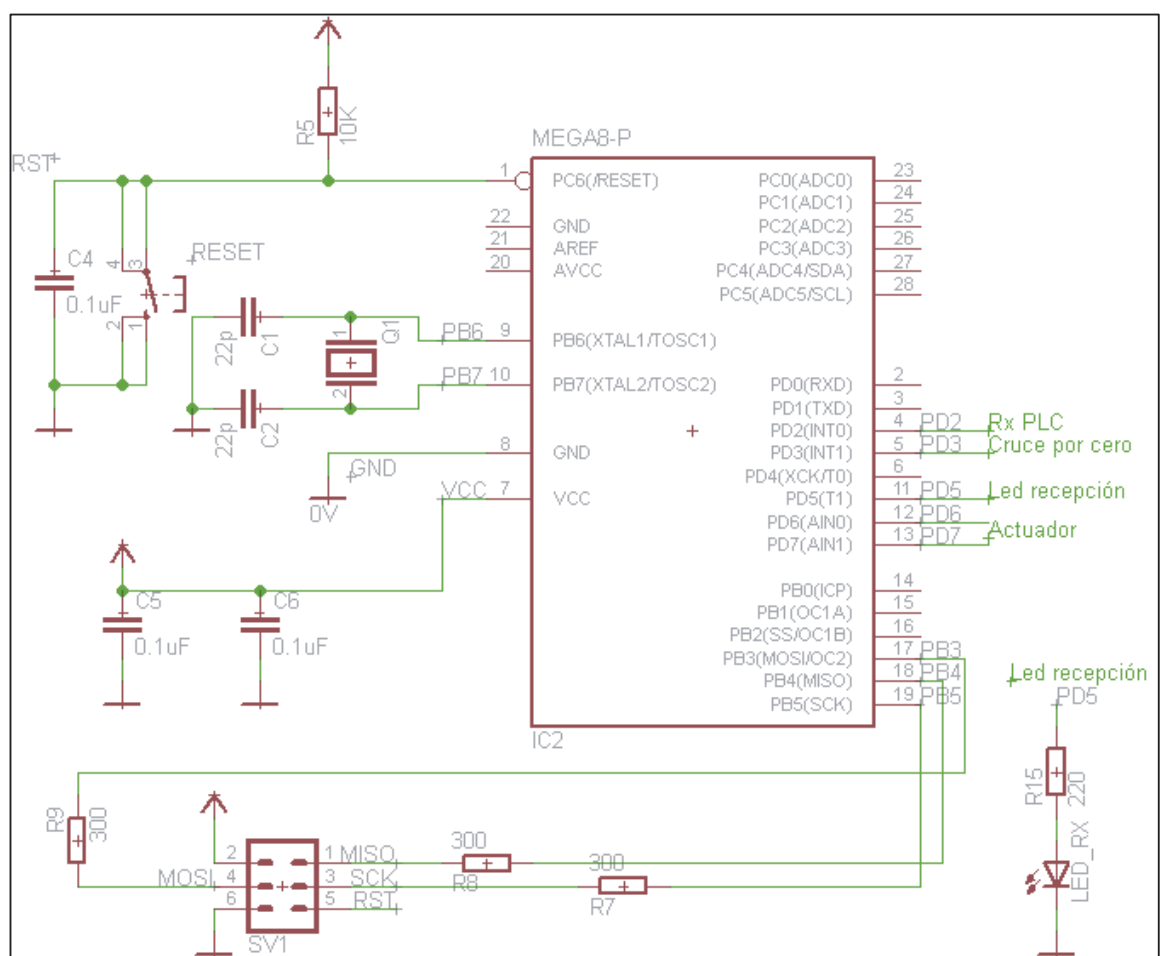


Figura 3. 22 Esquemático del Circuito del Controlador del Módulo Controlable

Finalmente, se detallan las figuras correspondientes al circuito impreso, diseñado e implementado, correspondiente al módulo controlable.

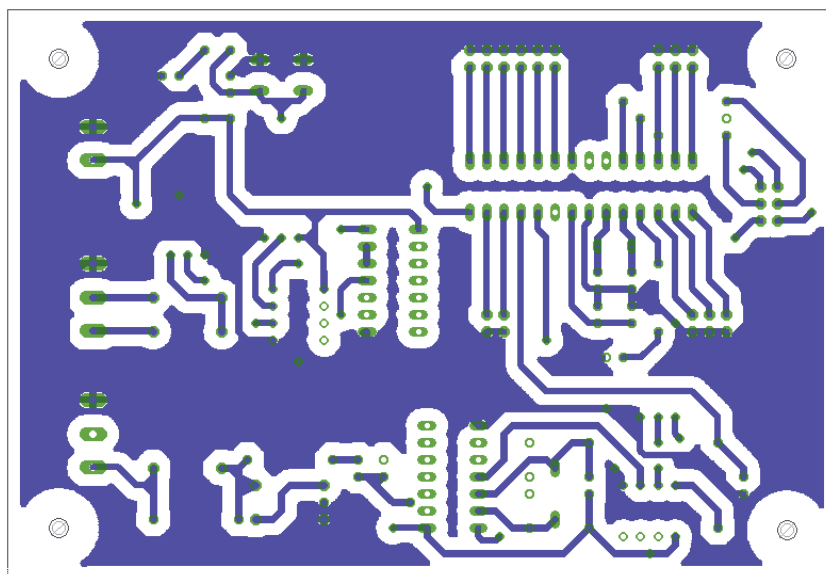


Figura 3. 23 Capa de Cobre Posterior de Módulo Controlable

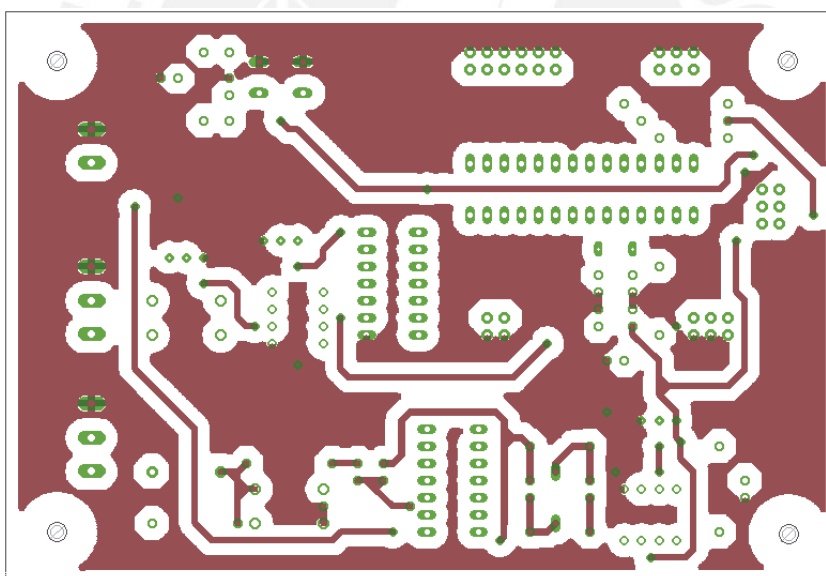


Figura 3. 24 Capa de Cobre Superior de Módulo Controlable

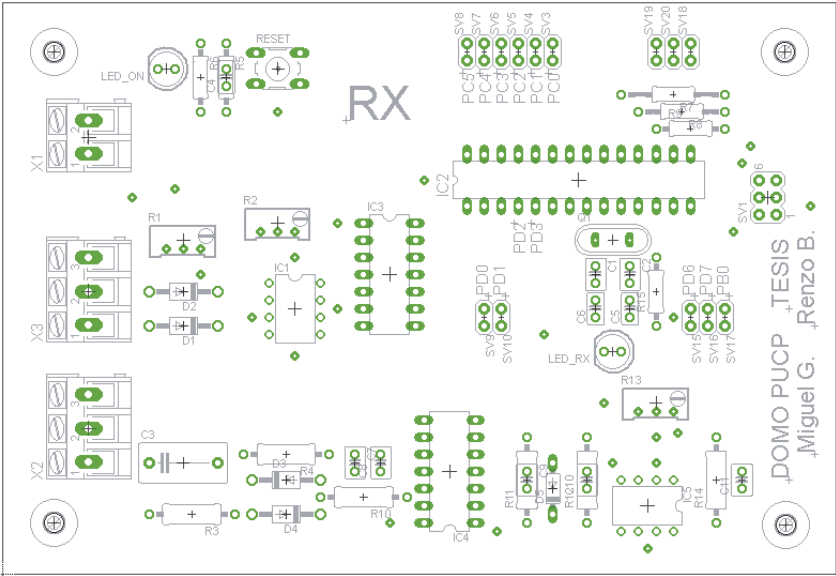


Figura 3. 25 Capa de Componentes Superior del Módulo Controlable

3.3.9. Fuente de Alimentación

En este punto, contamos con todo el hardware que conforma nuestro sistema a excepción de la fuente de energía. Para una correcta selección de la fuente de poder se realizan los cálculos de consumo de corriente de cada uno de los circuitos, los resultados de estos se detallan en la tabla 3.2. Además, cabe indicar que el diseño de los distintos circuitos se realizó tomando en cuenta una tensión de alimentación de 5VDC.

Circuito	Consumo máximo (mA)
Transmisor de comunicación PLC + Controlador	70
Receptor de comunicación PLC + Controlador	70
Comunicación Bluetooth	40
Control de Iluminación	18
Control de Tomacorrientes	70
Control de Cortinas	40

Tabla 3. 2 Resultados de Cálculos de Consumos

Si sumamos los valores calculados, el módulo de control tendrá un consumo máximo de 110mA, mientras que el módulo receptor junto a los distintos actuadores tendrá

consumos máximos de 88mA (iluminación), 140mA (tomacorrientes) y 110mA (cortinas). Debido al requerimiento de fuentes de tamaño reducido, se decide optar por una fuente conmutada. La opción más económica, en nuestro país, es adquirir una fuente conmutada ya implementada que encontramos en las tiendas de electrónica. Esto debido a la ausencia de fabricantes y diseñadores de transformadores de núcleo de ferrita, que son componentes esenciales de toda fuente conmutada. Para el desarrollo de esta tesis, se seleccionó la fuente de alimentación del fabricante Motorola, modelo SPN5186B cuyo costo en las tiendas de electrónica puede llegar hasta los 15.00 nuevos soles (5.4USD) y dimensiones reducidas son ideales para el propósito de esta tesis. Esta fuente se puede alimentar con tensiones de 110-240VAC y suministran 5VDC a la salida con 550mA, suficiente para alimentar cualquiera de los módulos diseñados.

3.4. Software

En esta sección se desarrollará el proceso de diseño e implementación del software que forma parte del sistema domótico planteado. Los diagramas de flujo y los códigos correspondientes a las diversas secciones se encuentran en la sección de anexos.

3.4.1. Programación del microcontrolador del Módulo de Control

Para la programación de los microcontroladores, se utilizó el entorno de desarrollo Atmel Studio del mismo fabricante de los ATMEGA88 seleccionados y se usó el grabador AVR ISP MKII tal como se mencionó anteriormente.

Se inicia el programa definiendo las variables y constantes a utilizar, para luego realizar la configuración de los puertos de entrada/salida tal como se detalló en la sección 3.3.1 y configurar la comunicación serial a una velocidad de 9600bps, trama de 8 bits, sin bit de paridad y 1 bit de parada para lograr la comunicación con el módulo HC-05. Luego se espera la llegada de algún dato en el pin de recepción de comunicación serial del microcontrolador. Cuando se logra recibir el dato, se compara el carácter recibido con los posibles valores que se encuentra en el anexo para asignar la dirección del módulo a ser controlado y la función que se desea ejecutar en este. Después se enciende el bit de transmisión y se procede a transmitir la trama de comunicación por línea de poder. Finalmente, una vez concluida la transmisión, se apaga el led indicador y se retorna a

esperar un nuevo dato por comunicación serial. En la figura 3.26 se aprecia el diagrama de flujo del programa principal del módulo de control.

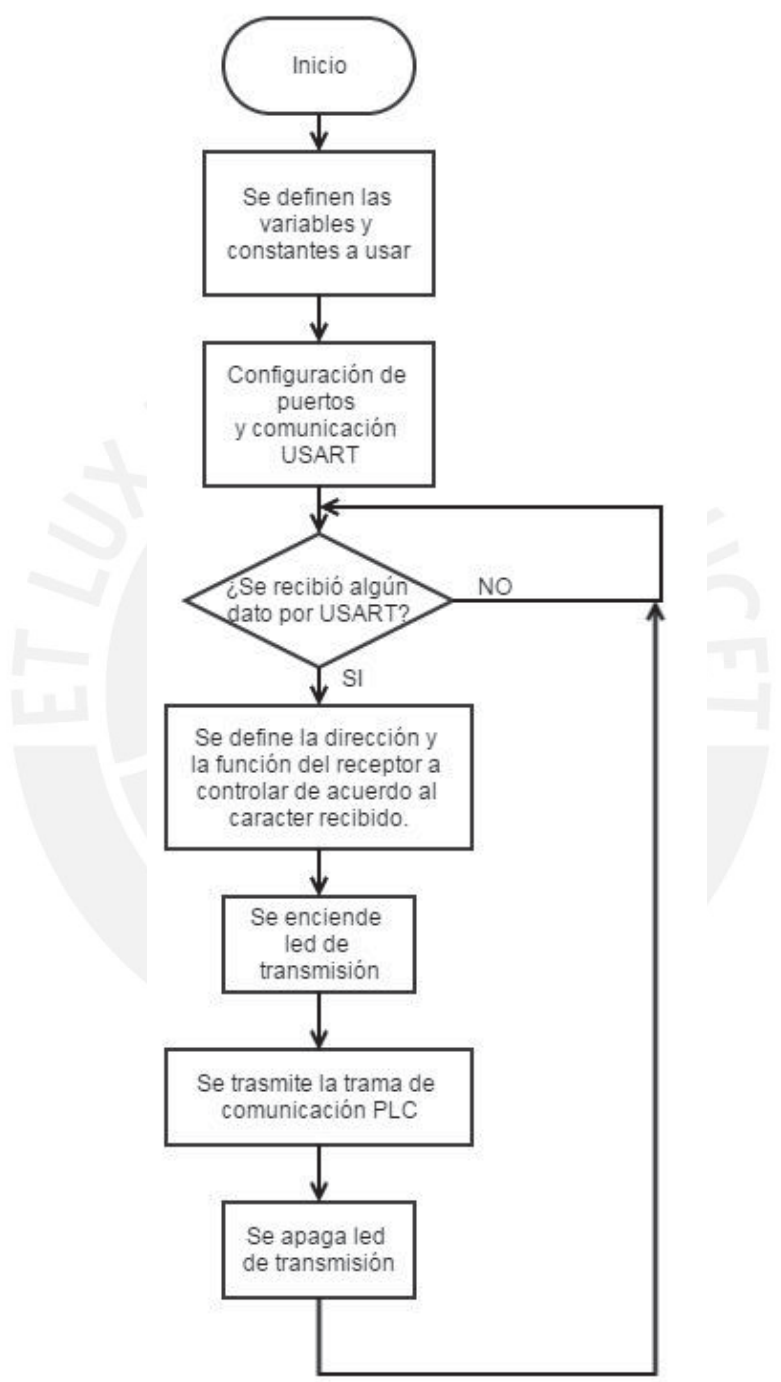


Figura 3. 26 Diagrama de Flujo del Programa Principal del Módulo de Control

La transmisión de datos se realiza extrayendo bit a bit la información de las direcciones de casa, de unidad, sufijo de dirección, función a realizar y sufijo de función, almacenadas en variables, para luego transmitir el bit hallado en un cruce por cero por un tiempo de 1ms. El diagrama de flujo de la transmisión de uno de estos registros se observa en la imagen 3.27.

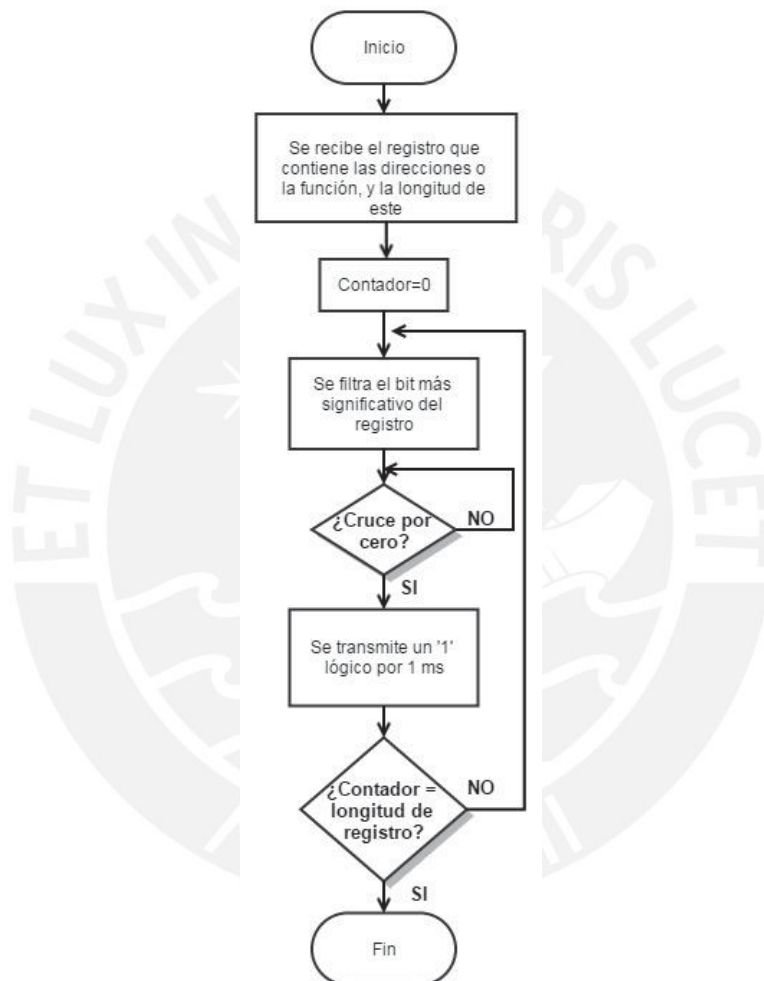


Figura 3. 27 Diagrama de Flujo de Transmisión de Pulsos PLC

3.4.2. Programación del microcontrolador del Módulo Controlable

La programación de los módulos controlables inicia con la definición de las variables y constantes de cada módulo, entre los que están la dirección de la casa, la de unidad y las posibles funciones a realizar. Luego se espera la llegada de un cruce por cero y se inicia la

verificación de recepción de la cabecera, es decir la llegada de un “1110” de ser exitosa la recepción, se encenderá el led de recepción indicando que se está recibiendo una trama que pertenece a la comunicación por línea de poder. Luego se verifica el código de la casa, la unidad, el sufijo de dirección, se almacena la función recibida y se verifica la llegada del sufijo de función. Una vez que se culminó con este procedimiento, se verifica la función a realizar y se ejecuta la acción de control. Para el caso del módulo de control de iluminación, se cambia el valor de una variable para que, con ayuda esta, se pueda realizar un retardo conocido tras el cruce por cero y lograr la variación de luminosidad como se explicó en la sección 3.3.4. Para el módulo de control de tomacorrientes, se varía el estado del pin PD7 para habilitar o inhabilitar el periférico. Además, para el módulo de control de cortinas se cambian los estados de los pines PD6 y PD7 para controlar el giro del motor. Una vez ejecutadas cualquiera de estas acciones, se apaga el led indicador de la recepción y se vuelve a evaluar los valores recibidos por línea de poder para esperar la posible llegada de una nueva instrucción. En la figura 3.28 se puede apreciar el diagrama de flujo que corresponde a esta programación.

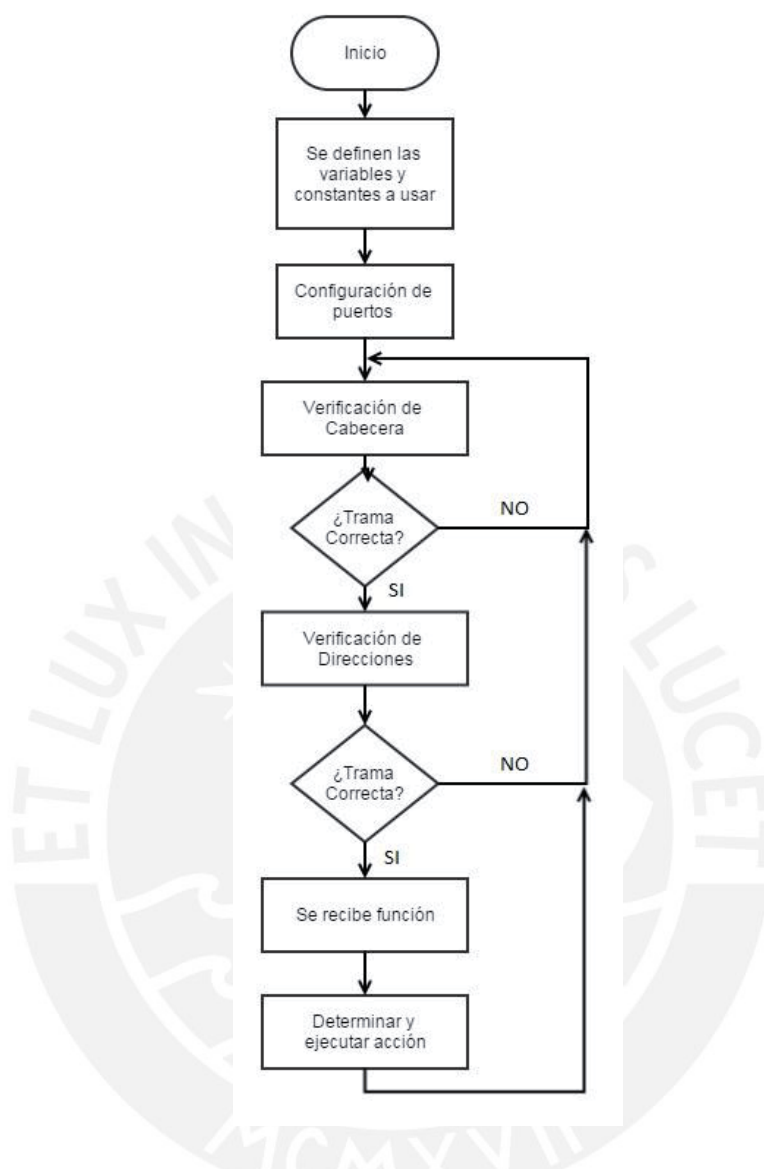


Figura 3. 28 Diagrama de Flujo del Programa Principal del Módulo Controlable

Además, en la figura 3.29 se aprecia el diagrama de flujo de la recepción y verificación de cada trama recibida.

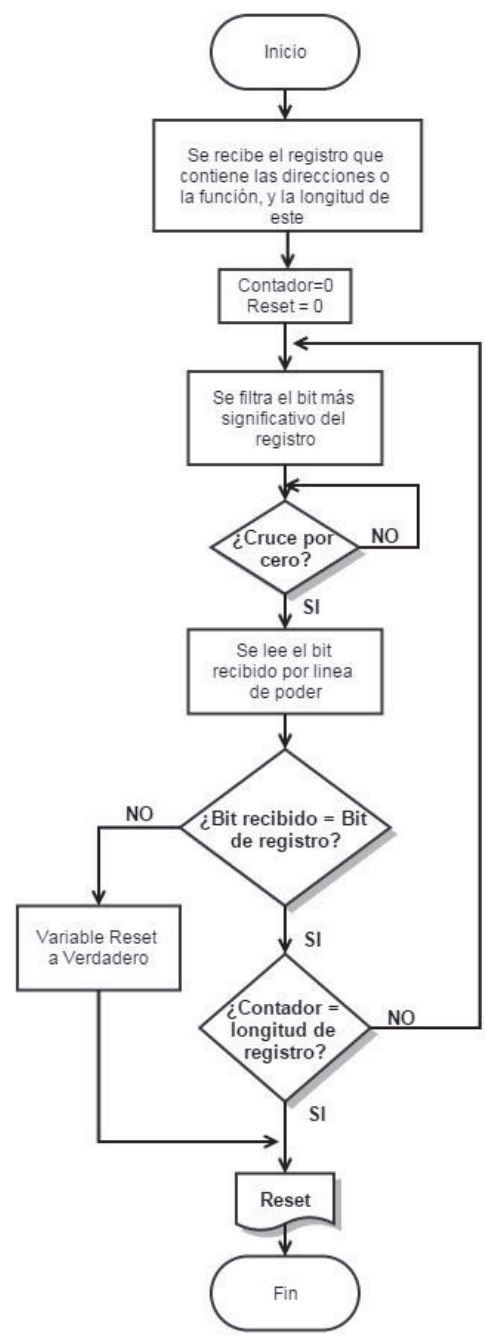


Figura 3. 29 Diagrama de Flujo de Recepción de Pulsos PLC

3.4.3. Diseño e implementación de la aplicación Móvil

Para el diseño de la aplicación se optó por una de tipo nativa debido a que se requería tener acceso a las diferentes funcionalidades del teléfono y era necesaria la transferencia

de datos con algún servidor web. Es por esta razón que se utilizó el entorno de desarrollo Eclipse (solo para aplicaciones nativas) y el SDK de Android (herramienta utilizada por Eclipse para la programación en Android).

Para poder ingresar al entorno de desarrollo Eclipse es necesario definir una carpeta donde se guardarán los proyectos realizados, llamada entorno de trabajo o “workspace”. Luego de ingresar se debe crear un nuevo proyecto Android definiendo el nombre del proyecto, la versión de sistema operativo a utilizar y el nombre de la actividad principal donde se programa en lenguaje java el funcionamiento de la aplicación. A continuación se crean por defecto las carpetas de la estructura del proyecto, luego se personaliza la interfaz gráfica o “layout” de la aplicación agregando una imagen de fondo y botones que interactúan con funciones desarrolladas en el código de la actividad. Una vez terminada la interfaz gráfica es necesario asignarle identificadores a cada botón para poder relacionarlas con variables creadas en el código Java donde se encuentra el funcionamiento de la aplicación.

El programa principal inicia definiendo las variables como los botones a utilizar, el UUID para la transmisión de comunicación serial por Bluetooth y la dirección MAC del módulo HC-05 para que sea posible realizar una conexión automática con la aplicación. Después, se espera a que se presione alguno de los botones agregados en la interfaz gráfica. De ser así, se procede a reconocer el elemento presionado y dependiendo de este, se envía el carácter que corresponde a la función seleccionada al controlador. Finalmente se retorna a esperar que se presiona algún botón para ejecutar la nueva acción.

Una vez realizados todos estos pasos y antes de poner en marcha la aplicación, se requiere brindar permisos a ésta para hacer uso de la comunicación Bluetooth del dispositivo móvil, para esto se modifica el archivo Android Manifest que contiene los aspectos principales de la aplicación como nombres, versión utilizada, iconos y permisos necesarios para su ejecución. Finalmente, en la figura 3.30 se observa el diagrama de flujo de la programación de la aplicación móvil y en la figura 3.31 es posible observar la interfaz gráfica resultante.

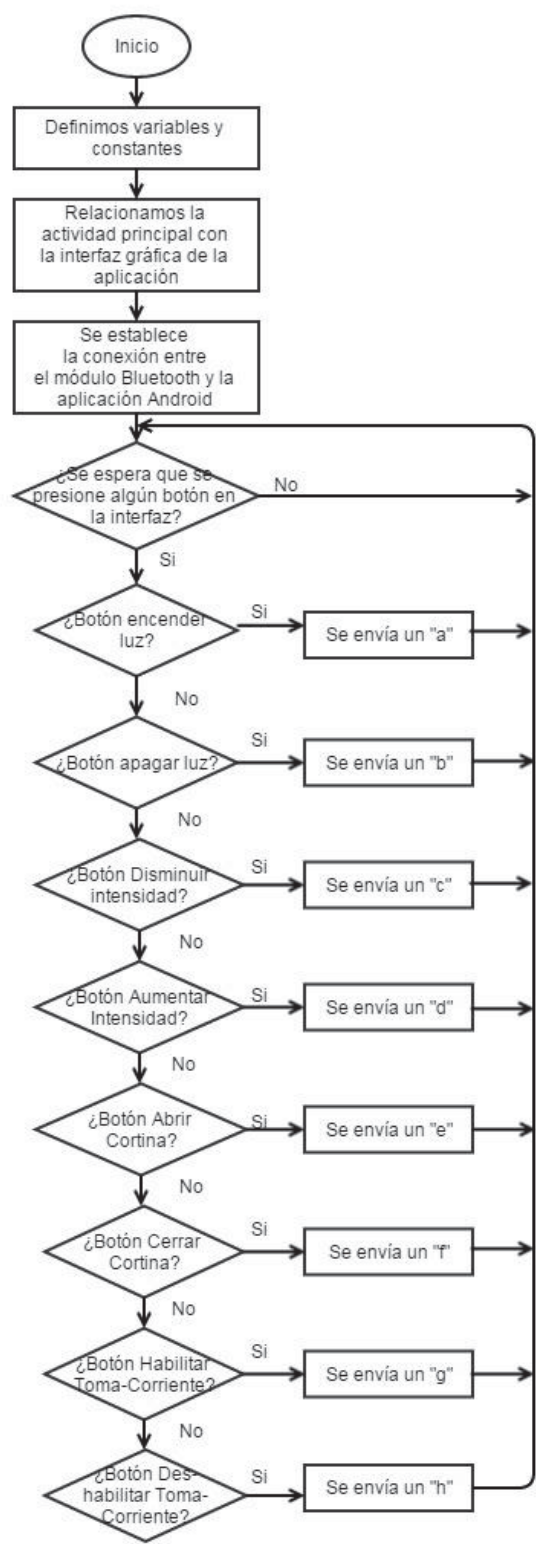


Figura 3. 30 Diagrama de Flujo del Programa Principal de la Aplicación Móvil

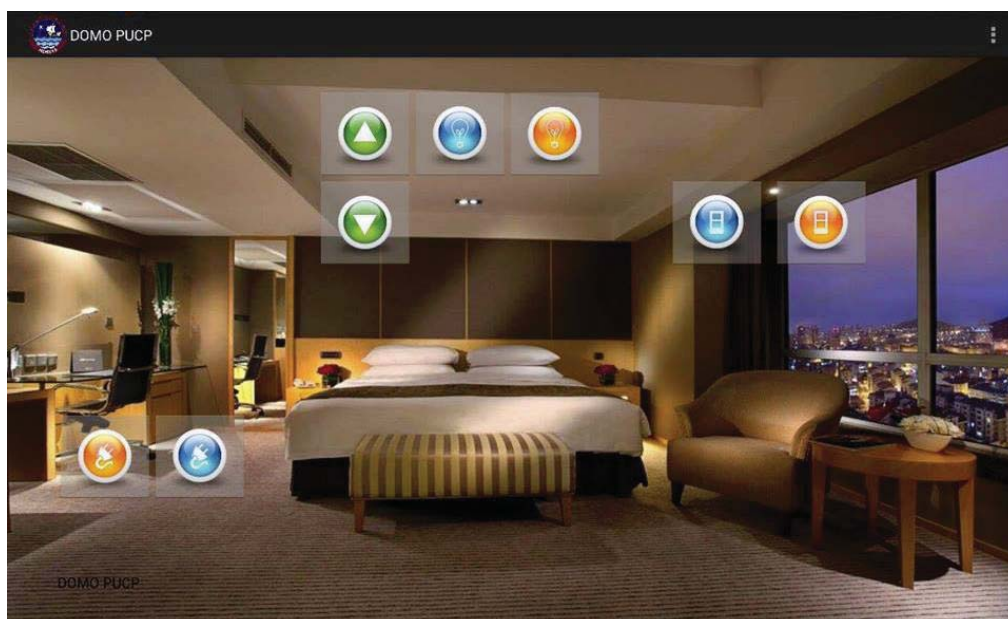


Figura 3. 31 Entorno Gráfico de la Aplicación Móvil

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1. Pruebas de la comunicación por línea de Poder

En esta sección se realizan las pruebas de los módulos de comunicación por línea de poder y de los circuitos que los conforman. Estas se realizaron en el laboratorio de proyecto electrónico del pabellón de ingeniería electrónica de la Pontificia Universidad Católica del Perú y en una vivienda del distrito de San Miguel a modo de prueba en un entorno real de una vivienda en nuestro país. Cabe indicar que para comprobar el correcto funcionamiento de estos, se analizaron las señales a la entrada y salida haciendo uso de un osciloscopio modelo MSO 2012B. Las figuras muestran las señales en dos canales del equipo de medición, el primero de estos se muestra en color amarillo y el segundo canal se muestra en color celeste. Los cálculos de valores de ambos canales del osciloscopio se muestran al lado derecho de las imágenes y se distinguen, al igual que las señales, por el color asignado a cada canal.

4.1.1. Pruebas del Módulo Transmisor de Comunicación por Línea de Poder

La primera prueba a realizar, será la del circuito detector de cruce por cero. Debido a que ambos módulos cuentan con el mismo circuito, estas pruebas se detallarán únicamente para el módulo transmisor. La figura 4.1 muestra la señal sinusoidal a la entrada del circuito en el canal 2 y la señal de detección del cruce por cero en el canal 1. Como se observa, la señal de este último, tiene una frecuencia de 120Hz y una amplitud máxima de 4.56VDC, valor que puede ser reconocido como un “1” lógico por el microcontrolador.

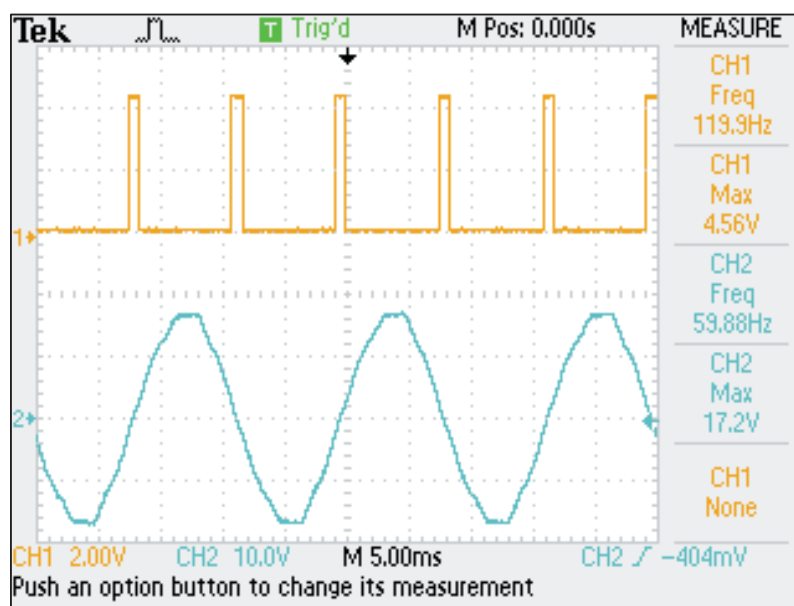


Figura 4. 1 Prueba del Circuito Detector de Cruce por Cero

La siguiente prueba realizada corresponde a la del circuito de generación de la señal de 120KHz. En la figura 4.2 se observan las señales obtenidas tras el envío de la cabecera de la trama ("110"). En el canal 1 se aprecia la señal a la salida del circuito y en el canal 2 la señal del pin PD2 del microcontrolador. Se observa cómo se genera de forma exitosa la señal de comunicación por línea de poder, los pulsos son modulados con una portadora a 120KHz.

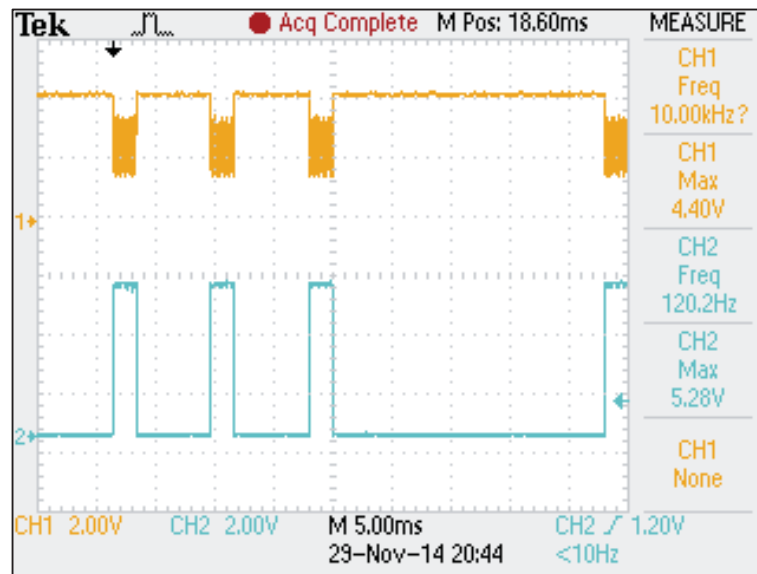


Figura 4. 2 Prueba del Circuito Generador y Acoplador de Comunicación PLC

4.1.2. Pruebas del Módulo Receptor de Comunicación por Línea de Poder

Tal como se mencionó en la sección anterior, no se analizará el circuito de detección de cruce por cero debido a que el diseño y la implementación son los mismos para ambos módulos.

En cuanto al circuito de detección de pulsos de comunicación por línea de poder, se analizaron las señales a lo largo de las diferentes etapas que lo conforman. En la figura 4.3 se puede apreciar, en el canal 1, la señal a la salida del filtro pasa altos RC y, en el canal 2, los pulsos a la salida del pin PD2 del microcontrolador del módulo de control. Como se observa, el filtro cumple su propósito de atenuar la señal de 220VAC y 60Hz del suministro de energía eléctrica y recuperar la señal a 120KHz de los pulsos de comunicación por línea de poder.

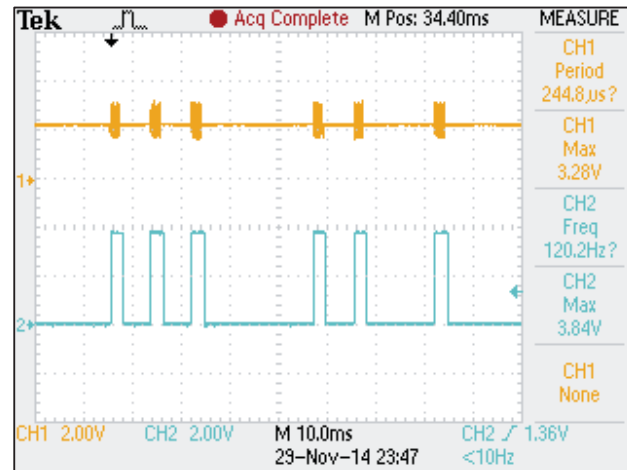


Figura 4. 3 Prueba Tras el Filtro Pasa Altos del Circuito Detector de Pulsos PLC

La siguiente etapa a probar es la de amplificación, la figura 4.4 muestra la señal a la salida del amplificador en el canal 1. Se comprueba que el amplificador funciona correctamente, al llevar a una amplitud máxima de 4.96V la señal de los pulsos de comunicación por línea de poder.

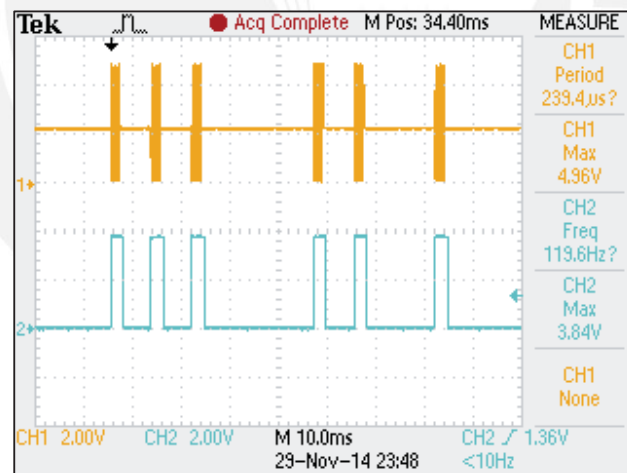


Figura 4. 4 Prueba Tras el Amplificador del Circuito Detector de Pulsos PLC

Tras filtrar y amplificar la señal de pulsos de comunicación por línea de poder, debemos acondicionar la señal a pulsos que se asemejen a los de la salida del microcontrolador del módulo de control. Para lo que se diseñó e implemento la etapa de detección de envoltente. La figura 4.5 muestra la señal obtenida a la salida de ésta. Se

puede observar que, debido a la configuración empleada en el diseño, la señal resultante está invertida respecto a la señal que deseamos obtener. Debido a esto es que se seleccionó un inversor a la salida de la detección de envolvente.

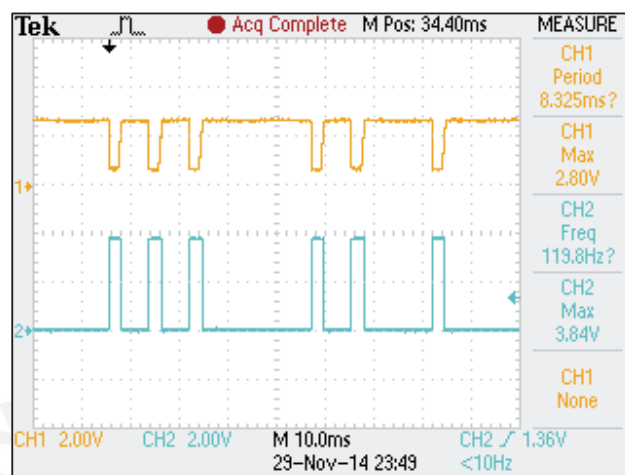


Figura 4. 5 Prueba Tras el Detector de Envolvente del Circuito Detector de Pulsos PLC

Las pruebas realizadas tras la inversión de la señal se pueden observar en la figura 4.6. En esta se puede apreciar que, además de invertir la señal, se llevó el resultado a niveles lógicos que pueden ser reconocidos por el microcontrolador del módulo controlable.

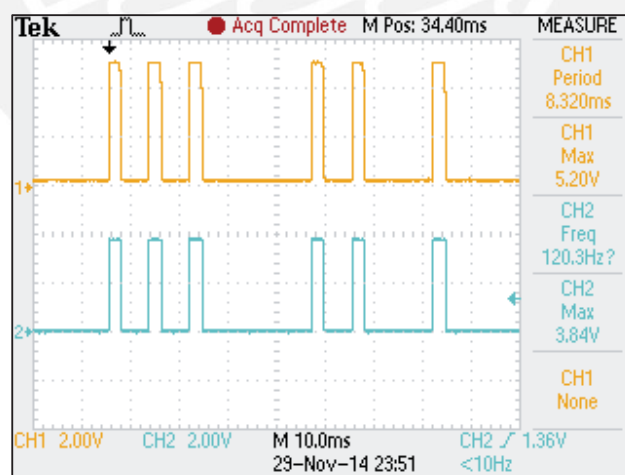


Figura 4. 6 Prueba Tras el Inversor del Circuito Detector de Pulsos PLC

Pero, tal como se mencionó en el capítulo 3, fue necesaria una etapa de acondicionamiento de la señal debido a caídas de tensión bruscas y efecto de ruido de alta

frecuencia. El resultado tras estas últimas etapas se muestra en la figura 4.7, donde se aprecia una señal recibida similar a la enviada por el microcontrolador del módulo de control.

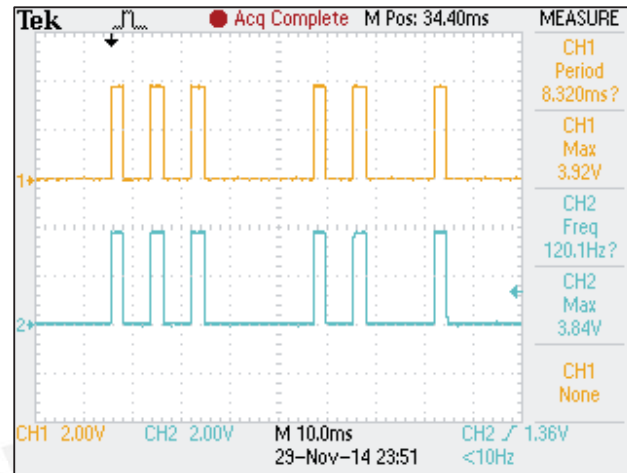


Figura 4. 7 Prueba a la Salida del Circuito Detector de Pulsos PLC

4.2. Pruebas de los Circuitos de Control de Cargas

En esta sección se detallan las pruebas realizadas a los actuadores que conforman el sistema domótico.

4.2.1. Pruebas del Circuito de Control de Iluminación

En cuanto al circuito de control de iluminación, como se mencionó en el capítulo 3, consta de un control basado en la excitación de un triac. Este se dispara tras un tiempo conocido tras el cruce por cero, alimentando la carga con solo una fracción de la curva sinusoidal del suministro de energía eléctrica. La figura 4.8 muestra la curva que alimenta la lámpara led. Como se observa la señal sinusoidal está completa.

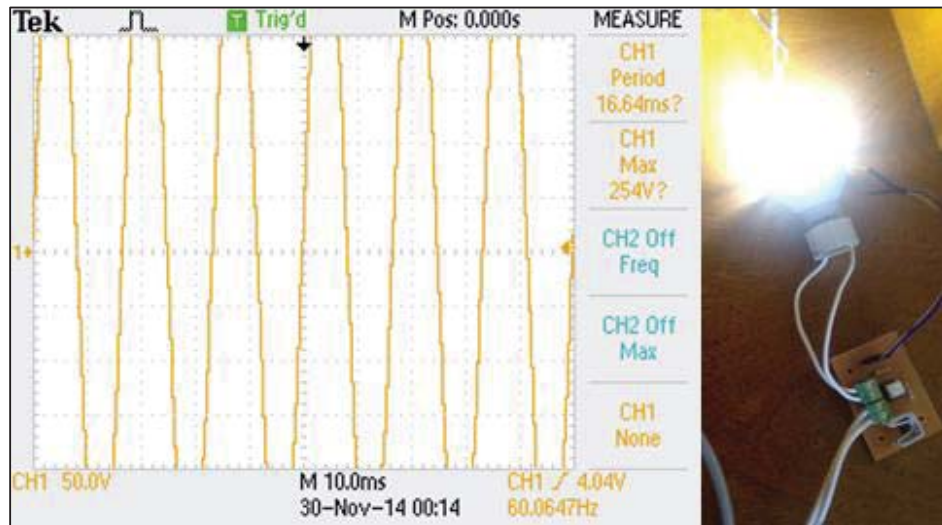


Figura 4. 8 Prueba del Circuito de Control de Iluminación Lámpara Encendida por Completo

Sin embargo en la figura 4.9 se observa como al enviar una orden de disminución de intensidad, la curva con la que se alimenta la carga se ve recortada.

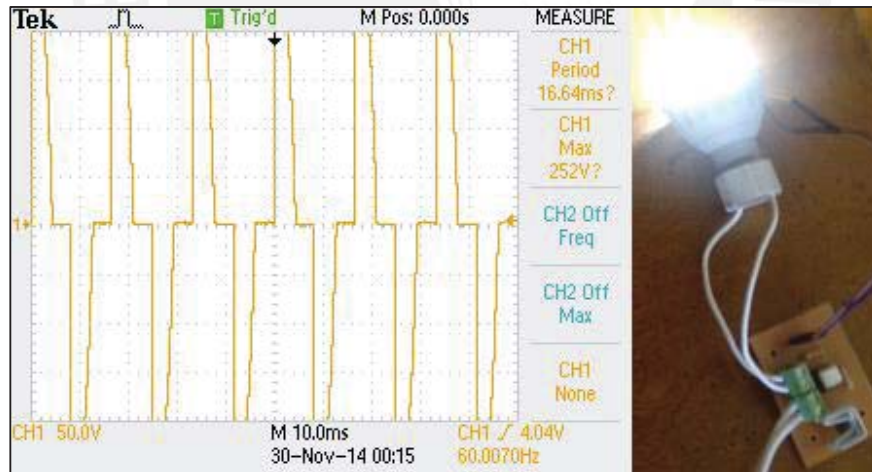


Figura 4. 9 Prueba del Circuito de Control de Iluminación Lámpara Atenuada

Además se muestra también la figura 4.10 en donde se puede apreciar la curva para una iluminación mucho menor en comparación a la anteriores dos imágenes.

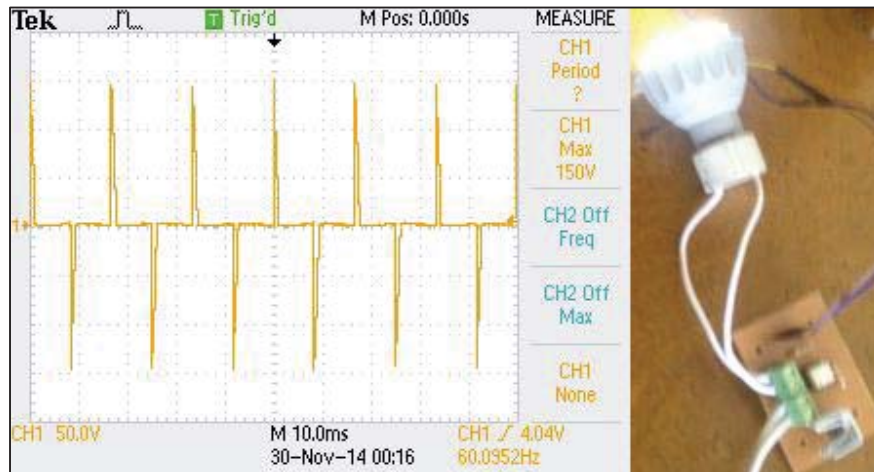


Figura 4. 10 Figura 4. 9 Prueba del Circuito de Control de Iluminación Lámpara Atenuada

4.2.2. Pruebas del Circuito de Control de Tomacorrientes

Se realizaron las pruebas del circuito de control de tomacorrientes, ingresando una señal digital de un “1” binario y el circuito respondió de forma adecuada, excitándose la bobina y permitiendo alimentar la carga con una tensión de 220VAC. Cabe indicar que el consumo de corriente consumida para excitar la bobina no es el esperado (200mA), es de 61mA lo que es beneficioso para el sistema ya que el consumo de potencia será menor. En la figura 4.10 se puede apreciar al circuito de control de tomacorrientes encendiendo una lámpara led a modo de prueba.

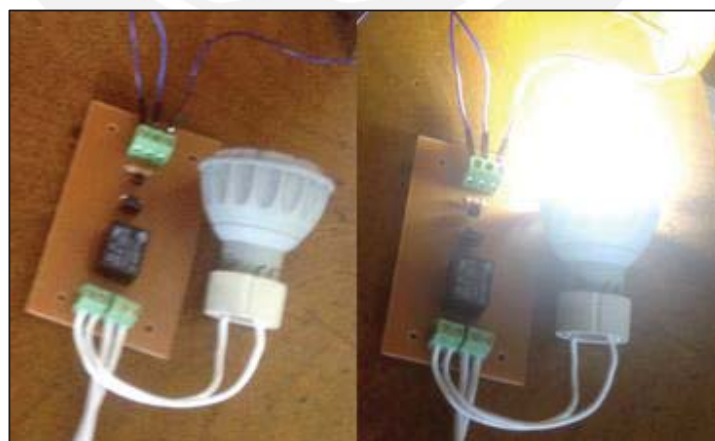


Figura 4. 11 Prueba del Circuito de Control de Tomacorrientes

4.2.3. Pruebas del Circuito de Control de Cortinas

Las pruebas del circuito de control de cortinas se realizaron de la misma forma, variando los valores lógicos a la entrada del circuito para invertir el giro del motor y se verificó que los fines de carrera cumplían su función de detener el motor. Además se utilizó una batería de 12V para energizar el motor de prueba. Cabe resaltar que el valor de corriente consumido por el circuito es de 38mA, es decir un valor menor al calculado en los diseños. En la figura 4.12 se puede apreciar el conexionado y la prueba de giro que se realizó para el circuito.

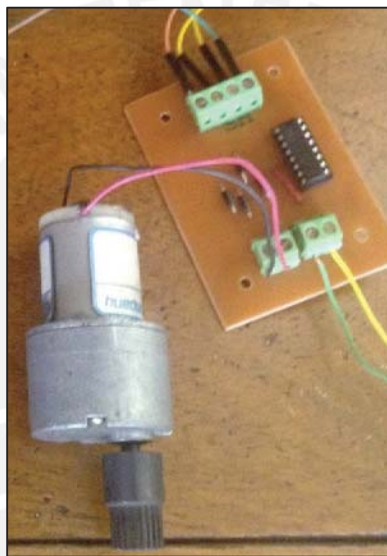


Figura 4. 12 Prueba del Circuito de Control de Cortinas

4.3. Pruebas de la comunicación Bluetooth y la aplicación móvil

La aplicación se probó en una tableta con versión de Android 4.4.2. Para asegurar que la transmisión se hace de forma correcta se utilizó un módulo Arduino con un programa que nos permite recibir un valor vía comunicación serial y retransmitirlo vía comunicación serial a la pc por el puerto USB de conexión del módulo y, haciendo uso del terminal del programa propio del módulo, es posible ver que el carácter recibido por el módulo. La figura 4.13 muestra la conexión realizada y la figura 4.14 muestra el resultado en el terminal del programa Arduino.

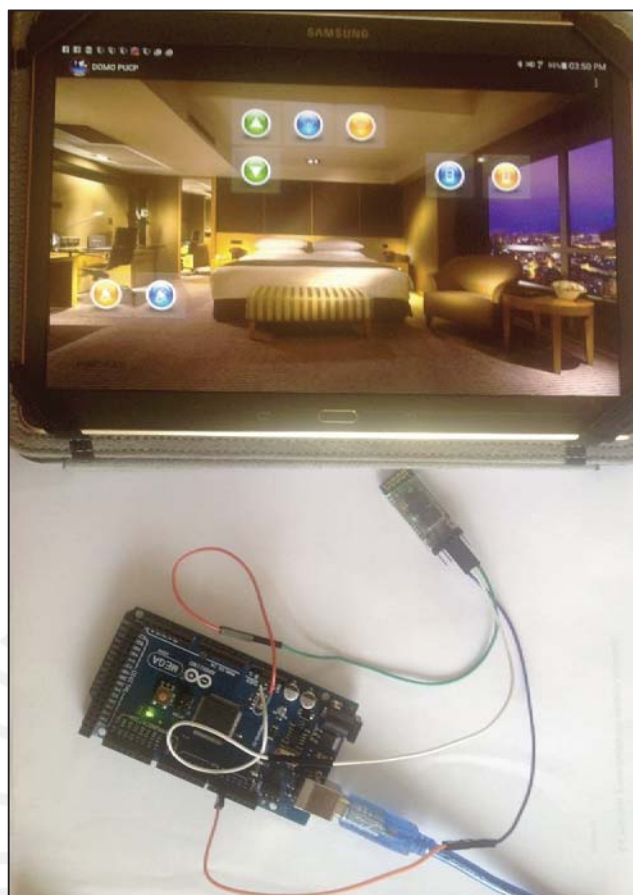


Figura 4. 13 Prueba de la Aplicación Móvil y la Comunicación Bluetooth

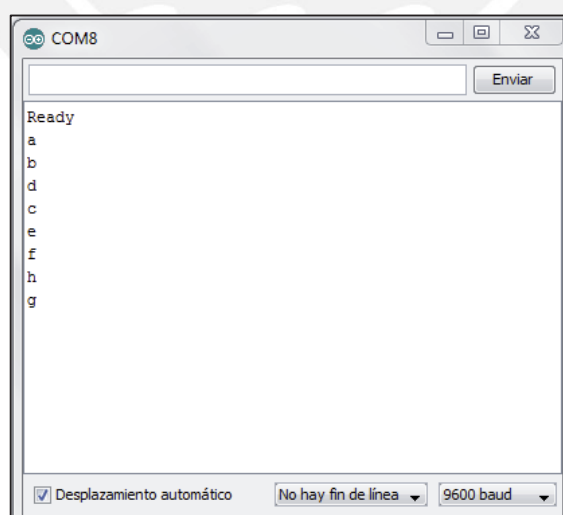


Figura 4. 14 Valores Recibidos por el Arduino Mostrados en el Terminal

4.4. Pruebas y resultados del sistema completo

Se realizaron pruebas de todo el sistema en funcionamiento y la comunicación entre los módulos controlables se realizó con éxito, así como la comunicación Bluetooth con el módulo de control. En la figura 4.15 se puede apreciar el envío y recepción de toda una trama de comunicación por línea de poder usando el protocolo X10-DOMO PUCP.

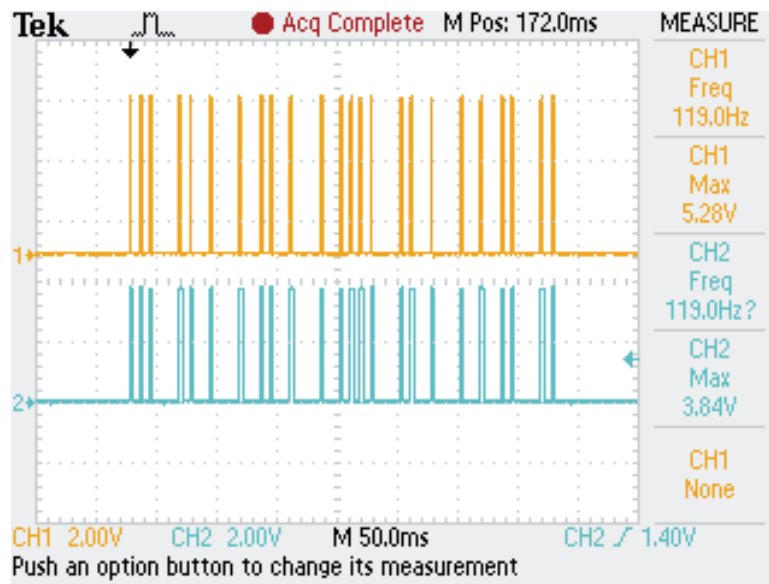


Figura 4. 15 Trama X10-DOMO PUCP Transmitida y Recibida

En las siguientes figuras se observan el módulo de control (Fig. 4.16) y los módulos controlables (Fig. 4.17, 4.18 y 4.19). Cabe hacer énfasis en la necesidad de contar con un cable de tierra común tanto en el receptor como en el transistor para poder realizar de forma correcta la comunicación, esto se puede observar en cada uno de los respectivos esquemáticos desarrollados en el capítulo 3.



Figura 4. 16 Módulo de Control

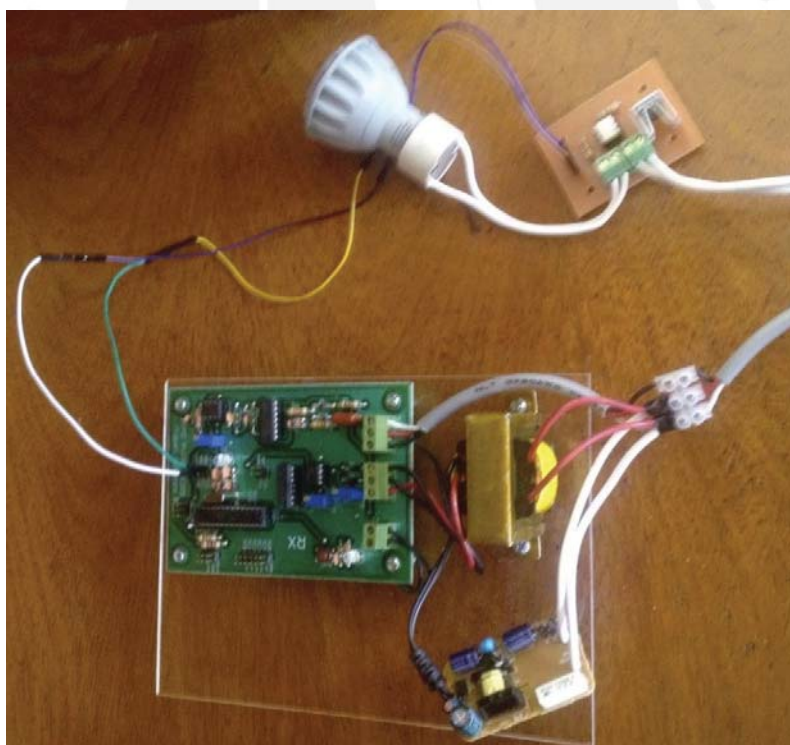


Figura 4. 17 Modulo Controlable - Control de Iluminación

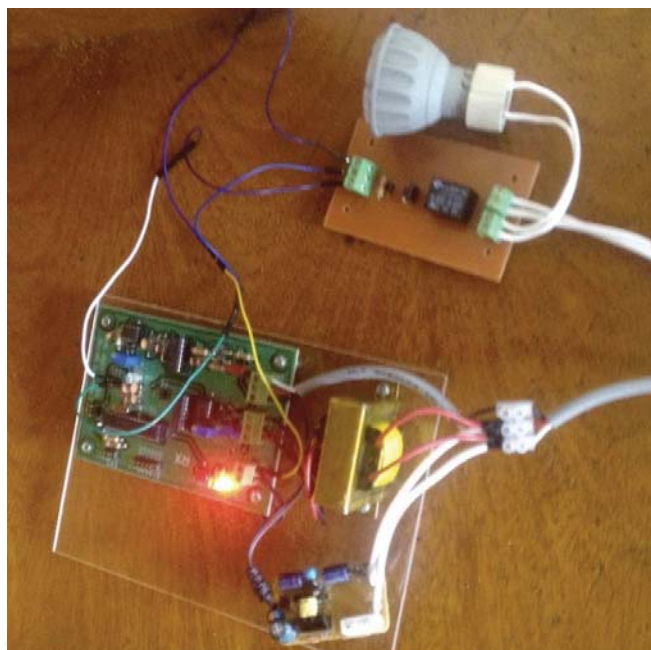


Figura 4. 18 Modulo Controlable - Control de Tomacorrientes

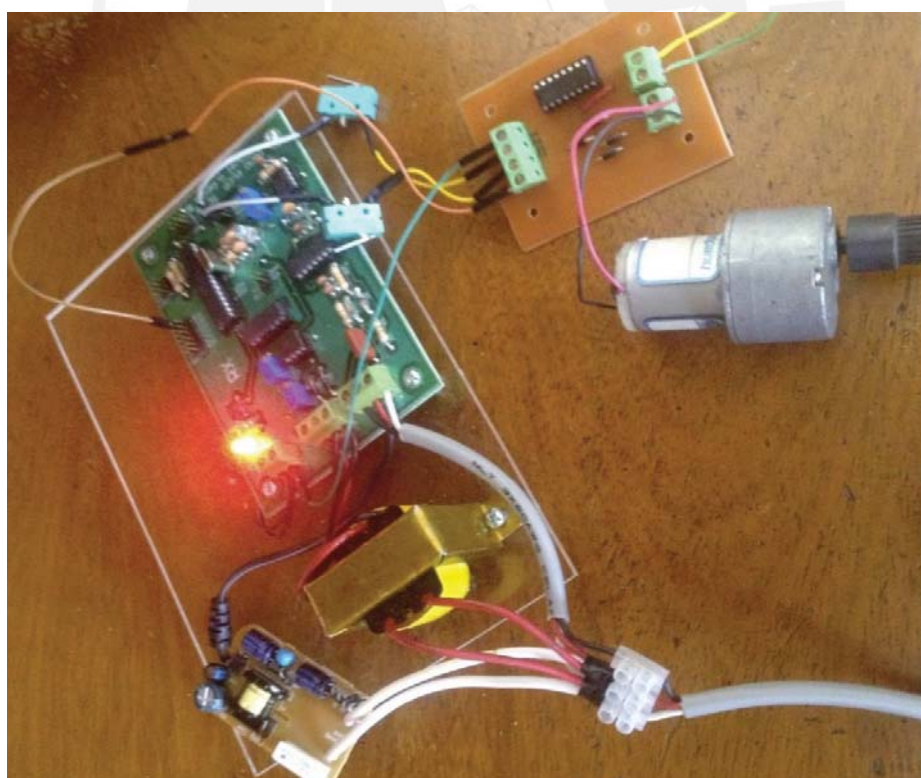


Figura 4. 19 Modulo Controlable - Control de Cortinas

CONCLUSIONES

A partir de lo desarrollado en el documento de tesis, se concluye lo siguiente:

1. Es posible realizar una comunicación a una frecuencia de 120Hz, utilizando el cableado de suministro de energía eléctrica como medio, la técnica de corrientes portadoras y el protocolo X-10 Domo PUCP descrito en el documento de tesis, en una red de 220VAC y 60Hz de frecuencia.
2. Los diseños implementados en el presente documento de tesis son útiles únicamente para aplicaciones cuya comunicación no requiera de frecuencias de transmisión mayores a los 60Hz y no para aquella que requieran altas velocidades de transmisión de datos tales como audio o video.
3. Finalmente, a partir de la verificación de la correcta interacción de los distintos elementos implementados durante el desarrollo de la tesis, se confirma que la comunicación por línea de poder puede ser tomada en cuenta como solución frente a aplicaciones libres de cableado estructurado, lo que permite eliminar la necesidad de modificación de la vivienda y así reducir costos de instalación.

RECOMENDACIONES

1. Se considera que los tamaños de los distintos equipos que conforman el sistema implementado, pueden ser drásticamente reducidos utilizando como alternativa el uso de componentes de montaje superficial.
2. La aplicación de este sistema requiere el uso de filtros de línea para aislar el ruido producido por viviendas aledañas y así evitar que la comunicación del sistema falle. Además de presentar alguna instalación cercana de dos o más equipos con este mismo protocolo, con este filtro se evita el manejo de los equipos por módulos de control que no pertenezcan a la vivienda.
3. La codificación en lenguaje de alto nivel C++ puede reescribirse en lenguaje ensamblador para aprovechar al máximo la velocidad de ejecución y la memoria de programa de los microcontroladores empleados.
4. Es posible mejorar el protocolo de comunicación con la finalidad de agregar técnicas de detección y corrección de errores que ocasione que la fiabilidad de la comunicación por línea de poder mejore.
5. Se recomienda que al momento de realizar las pruebas de los circuitos y usar herramientas de medición que sean energizadas con el suministro de energía eléctrica, se utilice un supresor del terminal de tierra del enchufe del equipo para evitar generar corto circuitos.
6. Finalmente, y tras haber realizado las recomendaciones descritas líneas arriba, se recomienda la fabricación de una carcasa de material aislante del producto resultante si se desea utilizar para fines comerciales. Considerar criterios de seguridad elevados para el uso de esta aplicación ya que es para uso doméstico y puede ser alcanzado por niños.

Bibliografía

- [1] Aguirre Chacón, L. T., & Sinche Ricra, H. J. (2013). Marco Teorico. En L. T. Aguirre Chacón, & H. J. Sinche Ricra, *Diseño de una aplicacion móvil para la consulta académica de FIIS-UTP* (págs. 17-20). Lima, Peru: Universidad Tecnologica del Perú.
- [2] Amplifier Circuit. (2014). *Simple RIAA Preamplifier Using Logic IC CD4069*.
Obtenido de <http://amplifiircircuit.net/simple-riaa-pre-amp-using-logic-ic-cd4069.html>
- [3] Analog Devices. (2012). *Operational Amplifiers Selection Guide*. USA.
- [4] BTM-5 Bluetooth. (2011). *Wireless TTL Master/Slave Transceiver Module*.
- [5] Burroughs, J. (2002). *AN236 X-10 Home Automation using PIC16F877A*. Microchip Technology Inc. Obtenido de http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1824&appnote=en012050
- [6] Calderón Castañeda, L. E. (2012). *Diseño y construcción de un prototipo de comunicación de correo electrónico a través de la línea eléctrica mediante protocolo X-10*. Bogota D.C.: Universidad de la Salle.
- [7] Castañeda Cubero, A. (2004). *Diseño de un Sistema Domótico para la Adecuación de una Vivienda Unifamiliar para Personas Discapacitadas*. Sevilla: Escuela Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla.
- [8] Chan, F., Núñez, K., Torres, E., Ortegón, J., Aguilar, O., & Toral, H. (2011). Análisis de sensibilidad al ruido en un sistema de comunicación sobre línea eléctrica para aplicaciones en Domótica empleando el protocolo X-10. *Ingeniería– Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán*, 147 - 156.
- [9] Creus Sole, A. (2005). *Domótica para Instaladores*. Barcelona: Ediciones Ceysa.
- [10] Departamento de Tecnología Electrónica. (2007). *Instrumentación Electrónica*. Sevilla.
- [11] DOMEISI PUCP. (2013). *Segunda encuesta sobre la automatización doméstica en el Perú*. Lima, Perú: Grupo de Domótica, Edificios Inteligentes y Servicios Integrados (PUCP).
- [12] Domótica Viva. (2003). *Bricolaje X-10 Curso de Domótica a través de la red eléctrica*. Obtenido de <http://www.domoticaviva.com/X-10/X-10.htm>

- [13] Hernández Aquino, R. (2008). Introducción a bluetooth y Wi-Fi. En R. Hernández Aquino, *Diseño, simulación y construcción de antenas tipo parche para bluetooth y Wi-Fi, bandas 2.4 ghz y 5.8 ghz*. México: UDLAP.
- [14] INEI. (2007). *Perú: Tipos y ciclos de vida de los hogares*. Peru: Centro de Edición de la Oficina Técnica de Difusión del INEI.
- [15] INEI. (2013). *Hogares en viviendas particulares, según tipo de vivienda que ocupan y área de residencia*. Lima, Perú.
- [16] Kamt Marconi, A. (2011). *Diseño de un equipo de comunicación utilizando las líneas eléctricas para la automatización doméstica*. Lima, Peru: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- [17] Lozada Díaz, D. A. (2008). *Diseño y desarrollo de un transmisor y receptor de un sistema domótico utilizando tecnología de corrientes portadoras y el protocolo X-10*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- [18] OpenDomotica. (30 de Noviembre de 2008). *OpenDomotica*. Obtenido de Estudio del protocolo (II): <https://opendomotica.wordpress.com/2008/11/30/estudio-del-protocolo-ii/>
- [19] Pinguino-Wiki. (06 de Marzo de 2014). *Pinguino-Wiki*. Obtenido de SPP Bluetooth Modules: http://wiki.pinguino.cc/index.php/SPP_Bluetooth_Modules
- [20] RAE. (2014). *Diccionario de la lengua española*. España.
- [21] Romero C., V. F. (2011). *Domótica e Inmótica*. Mexico D.F., México: Alfaomega Rama.
- [22] Valle Islas, L. F. (13 de mayo de 2005). Bluetooth. En L. F. Valle Islas, *Coexistencia de Redes WLAN & WPAN*. México : UDLAP.
- [23] Valle Islas, L. F. (10 de Julio de 2014). *Colección de Tesis Digitales Universidad de las Americas Puebla*. Obtenido de Coexistencia de Redes WLAN & WPAN: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/valle_i_lf/capitulo3.pdf
- [24] Zolezzi A., D. (2013). *El Ecosistema Móvil en el Perú: Preparándonos para el Futuro Inmediato*. Perú: Interactive Advertising Bureau.